

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

PCT

NOTIFICATION D'ELECTION

(règle 61.2 du PCT)

Expéditeur: le BUREAU INTERNATIONAL

Destinataire:

United States Patent and Trademark
Office
(Box PCT)
Crystal Plaza 2
Washington, DC 20231
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

en sa qualité d'office élu

Date d'expédition (jour/mois/année)

30 juin 1999 (30.06.99)

Demande internationale no

PCT/EP98/07538

Référence du dossier du déposant ou du mandataire

8966BMA657FD

Date du dépôt international (jour/mois/année)

17 novembre 1998 (17.11.98)

Date de priorité (jour/mois/année)

20 novembre 1997 (20.11.97)

Déposant

GROSSETIE, Jean-Claude etc

1. L'office désigné est avisé de son élection qui a été faite:



dans la demande d'examen préliminaire international présentée à l'administration chargée de l'examen préliminaire international le:

25 mai 1999 (25.05.99)



dans une déclaration visant une élection ultérieure déposée auprès du Bureau international le:

2. L'élection



a été faite



n'a pas été faite

avant l'expiration d'un délai de 19 mois à compter de la date de priorité ou, lorsque la règle 32 s'applique, dans le délai visé à la règle 32.2b).

Bureau international de l'OMPI
34, chemin des Colombettes
1211 Genève 20, Suisse

no de télécopieur: (41-22) 740.14.35

Fonctionnaire autorisé

Pamella AMALLO-ELOTU

no de téléphone: (41-22) 338.83.38

THIS PAGE BLANK (ustp10)

CLAIMS

1. A method of producing a hologram from a virtual object (6) defined in a three-dimensional geometrical space (O,x,y,z), characterized in that it includes the following steps:

5 computing (E1-E4) a set of two-dimensional images (80_{nm}) representing the object from respective different viewpoints in the three-dimensional space,

 computing (E5-E6) holograms (90_{nm}) respectively corresponding to said two-dimensional images, and

10 combining (E7) said holograms (90_{nm}) in a common digital image to form a hologram (9) of the object (6).

2. A method according to claim 1, wherein said step of computing the set of two-dimensional images includes the following steps:

15 defining (E1-E2) in the three-dimensional space a matrix of points (70_{nm}) in a first geometrical plane (7) separate from the object (6), and

 projecting (E3-E4) images of the object as respectively seen from said points (70_{nm}) of said matrix onto a second geometrical plane (8) which is preferably between the object (6) and the first plane (7) and parallel to the first plane, the projected images constituting said two-
20 dimensional images (80_{nm}).

3. A method according to claim 2, wherein, for each point (70_{nm}) of the matrix, said projection step consists of projecting points (60) of the object (6) onto the second plane (8) along respective straight lines passing through said points of the object and said each point of the matrix.

25 4. A method according to any one of claims 1 to 3, wherein said step (E5-E6) of computing the holograms is implemented using a technique employing a Fourier transform.

 5. A method according to any one of claims 1 to 4, wherein said two-dimensional images (80_{nm}) are defined by respective real functions
30 ($f_{nm}(Y,Z)$) and said step (E5-E6) of computing _____

THIS PAGE BLANK (USPTO)

spatial light modulator animated three-dimensional images of the object (6) are reproduced.

14. A system for producing a hologram from a virtual object (6) defined in a three-dimensional geometrical space (O,x,y,z), characterized in that it includes:

means (1) for storing in memory the virtual object (6) defined in the three-dimensional geometrical space (O,x,y,z),

first computing means (1) for producing a set of two-dimensional images (80_{nm}) representing the object (6) from respective different viewpoints in the three-dimensional space,

second computing means (1) for producing holograms (90_{nm}) respectively corresponding to said two-dimensional images (80_{nm}), and

combining means (1) for combining said holograms (90_{nm}) in a common digital image to form a hologram (9) of the object (6).

15. A system according to claim 14, wherein said first computing means comprise projection computing means (1) for computing the projection of images of the object (6) as seen from respective points (70_{nm}) of a matrix of points in a first geometrical plane (7) separate from the object (6) onto a second geometrical plane (8) which is preferably between the object (6) and the first plane (7) and parallel to the first plane (7) in the three-dimensional geometrical space (O,x,y,z).

16. The system claimed in claim 15, wherein said projection computing means comprise means (1) for computing, for each point (70_{nm}) of the matrix, the projection of points (60) of the object (6) onto the second plane (8) along respective straight lines passing through said points of the object and said each point of the matrix.

17. A system according to any one of claims 14 to 16, wherein said two-dimensional images (80_{nm}) are defined by respective real functions ($f_{nm}(Y,Z)$) and the second computing means comprise:

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Translation

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

Applicant's or agent's file reference 8966BMA657FD	FOR FURTHER ACTION See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. PCT/EP98/07538	International filing date (day/month/year) 17 November 1998 (17.11.98)	Priority date (day/month/year) 20 November 1997 (20.11.97)
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC G03H 1/08, 1/26		
Applicant EUROPEAN COMMUNITY (EC)		

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.
2. This REPORT consists of a total of 6 sheets, including this cover sheet.

☒ This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).

These annexes consist of a total of 2 sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:

- I ☒ Basis of the report
- II ☐ Priority
- III ☐ Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- IV ☐ Lack of unity of invention
- V ☒ Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- VI ☐ Certain documents cited
- VII ☐ Certain defects in the international application
- VIII ☐ Certain observations on the international application

Date of submission of the demand 25 May 1999 (25.05.99)	Date of completion of this report 08 February 2000 (08.02.2000)
Name and mailing address of the IPEA/EP	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/EP98/07538

I. Basis of the report

1. This report has been drawn on the basis of (*Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to the report since they do not contain amendments.*):

- ☐ the international application as originally filed.
- ☒ the description, pages 1 - 20, as originally filed,
 pages _____, filed with the demand,
 pages _____, filed with the letter of _____,
 pages _____, filed with the letter of _____.
- ☒ the claims, Nos. 5 (in Part), 6 - 12, 13 (in Part), 17 (in Part), 18 - 25, as originally filed,
 Nos. _____, as amended under Article 19,
 Nos. _____, filed with the demand,
 Nos. 1 - 4, 5 (in Part), 13 (in Part), 14 - 16, 17 (in Part), filed with the letter of 10 November 1999 (10.11.1999),
 Nos. _____, filed with the letter of _____.
- ☒ the drawings, sheets/fig 1/5 - 5/5, as originally filed,
 sheets/fig _____, filed with the demand,
 sheets/fig _____, filed with the letter of _____,
 sheets/fig _____, filed with the letter of _____.

2. The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages _____
- ☐ the claims, Nos. _____
- ☐ the drawings, sheets/fig _____

3. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).

4. Additional observations, if necessary:

THIS PAGE BLANK (USPTO)

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.
PCT/EP 98/07538

V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

1. Statement

Novelty (N)	Claims	5-13, 17-25	YES
	Claims	1-4, 14-16	NO
Inventive step (IS)	Claims		YES
	Claims	5-13, 17-25	NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-25	YES
	Claims		NO

2. Citations and explanations

1. Claim 1 does not fulfil the requirements of PCT Article 33 for the following reasons:-

1.1 The method of Claim 1 is not novel over the prior art.

Document D1 (WO 90/04218 A) discloses, in Figure 4 and in the corresponding description in particular, a method for producing a hologram 50 from a virtual object 30, defined in a three-dimensional geometric space (page 3, second paragraph), the method comprising the following steps:

* calculating a set of two-dimensional images 200, 400 representing an object 30 according to two respective different points of view, 52 and 54, in the three dimensional space (see also page 13, line 2, to page 14, line 34).

* calculating the holograms corresponding to said two-dimensional images respectively (see page 19, line 29, to page 20, line 3: "The hologram element is calculated from the pixel map as a Fourier transform); and

THIS PAGE BLANK (USPTO)

* combining said holograms into a single digital image in order to form a composite hologram of the object (see Figures 3A, 3B: composite hologram 50 formed from holograms 52, 54; see page 19, line 29, to page 20, line 3).

N.B.: The digital calculation of the composite hologram and the subsequent recording thereof using an electronic jet as described in document D1 requires a step in which the individual holograms are combined into the same digital image.

Therefore, the method defined in Claim 1 cannot be considered to be novel as a feature corresponding to each step can be found in document D1.

1.2 The method of Claim 10 does not involve an inventive step.

Document D1 discloses a method for producing a three-dimensional image from a virtual object 30 defined in a three-dimensional geometric space, comprising the following steps:

- * producing a composite hologram according to the method defined in Claim 1 (see section 1.1 above);
- * physically reproducing said hologram on a recording element (see page 19, line 15, to page 20, line 3), and
- * lighting the recording element in order to retrieve a three-dimensional image of the object from this composite hologram (see page 2, line 25, to page 3, line 5).

Therefore, the method claimed differs from that of document D1 in that the recording element comprises

THIS PAGE BLANK (USPTO)

a spatial light modulator (whereas in document D1 photosensitive elements are used). The problem that the present invention aims to solve can therefore be considered to be that of viewing the hologram in real time.

Document D2 (US 5 668 648 A) concerns the digital synthesis of holograms. From document D2 it can be seen that the use of a spatial light modulator for viewing holograms in real time is well known (see prior art presentation in the "Background" section; see page 5, lines 45-51). Consequently, it is obvious for a person skilled in the art to replace the photosensitive element in a system according to document D1 with a spatial light modulator. Thus, the person skilled in the art would arrive at the claimed method without exercising an inventive step.

1.3 The observations above similarly apply to Claims 14 and 22.

2. The dependent claims do not appear to contain any feature which, in combination with the subject of that of any of the claims to which they refer, involves an inventive step which fulfils the requirements of the PCT concerning novelty and/or inventive step for the following reasons:

2.1 The steps defined in Claims 2, 3, 4 and 9 are known from document D1 (see Figure 4: the matrix 50 of basic holograms 52, 54; see the projections of the images of the object on a second geometrical plane 200 inserted between said object 30 and said matrix 50; see page 19, line 29, to page 20, line 3: Fourier transform; see Figure 3B: matrix 50 formed by the juxtaposition of the basic holograms).

THIS PAGE BLANK (USPTO)

- 2.2 Document D4 (S. Michelin et al.: "Fourier-transform computer-generated hologram: a variation of the off-axis principle", SPIE Vol.2176 Practical Holography VIII, 1994) discloses the steps defined in Claims 5, 6, 7 and 8 (see in particular Figures 1 and 4 and the corresponding description).
- 2.3 The features of Claims 11 and 12 are anticipated by document D2 (column 1, line 31: liquid crystal screen; see figure 12: three sources of different coloured light 230a, 230b and 230c illuminating the SLM spatial modulator).
- 2.4 The consecutive reproduction of a sequence of holograms in order to obtain a three-dimensional animation is well known in the field of holography.
- 2.5 The comments above similarly apply to Claims 15-21 and 23-25.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

M.H

-1.5

TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

PCT

REC'D 10 FEB 2000

WIPO

PCT

RAPPORT D'EXAMEN PRELIMINAIRE INTERNATIONAL

(article 36 et règle 70 du PCT)

Référence du dossier du déposant ou du mandataire 8966BMA657FD	POUR SUITE A DONNER voir la notification de transmission du rapport d'examen préliminaire international (formulaire PCT/IPEA/416)	
Demande internationale n° PCT/EP98/07538	Date du dépôt international (jour/mois/année) 17/11/1998	Date de priorité (jour/mois/année) 20/11/1997
Classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois classification nationale et CIB G03H1/08		
Déposant EUROPEAN COMMUNITY (EC) et al.		



1. Le présent rapport d'examen préliminaire international, établi par l'administration chargée de l'examen préliminaire international, est transmis au déposant conformément à l'article 36.
2. Ce RAPPORT comprend 6 feuilles, y compris la présente feuille de couverture.

☒ Il est accompagné d'ANNEXES, c'est-à-dire de feuilles de la description, des revendications ou des dessins qui ont été modifiées et qui servent de base au présent rapport ou de feuilles contenant des rectifications faites auprès de l'administration chargée de l'examen préliminaire international (voir la règle 70.16 et l'instruction 607 des Instructions administratives du PCT).

Ces annexes comprennent 2 feuilles.

3. Le présent rapport contient des indications relatives aux points suivants:

- I ☒ Base du rapport
- II ☐ Priorité
- III ☐ Absence de formulation d'opinion quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle
- IV ☐ Absence d'unité de l'invention
- V ☒ Déclaration motivée selon l'article 35(2) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration
- VI ☐ Certains documents cités
- VII ☐ Irrégularités dans la demande internationale
- VIII ☐ Observations relatives à la demande internationale

Date de présentation de la demande d'examen préliminaire internationale 25/05/1999	Date d'achèvement du présent rapport 08.02.00
Nom et adresse postale de l'administration chargée de l'examen préliminaire international:  Office européen des brevets D-80298 Munich Tél. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d Fax: +49 89 2399 - 4465	Fonctionnaire autorisé Thieme, W N° de téléphone +49 89 2399 2597 

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**RAPPORT D'EXAMEN
PRELIMINAIRE INTERNATIONAL**

Demande internationale n° PCT/EP98/07538

I. Base du rapport

1. Ce rapport a été rédigé sur la base des éléments ci-après (*les feuilles de remplacement qui ont été remises à l'office récepteur en réponse à une invitation faite conformément à l'article 14 sont considérées, dans le présent rapport, comme "initialement déposées" et ne sont pas jointes en annexe au rapport puisqu'elles ne contiennent pas de modifications.*) :

Description, pages:

1-20 version initiale

Revendications, N°:

5 (partie), 6-12, version initiale
13 (partie), 17 (partie),
18-25

1-4,5 (partie), 13 (partie),
10/11/1999

reçue(s) le 15/11/1999

avec la lettre du

14-16,
17 (partie)

Dessins, feuilles:

1/5-5/5 version initiale

2. Les modifications ont entraîné l'annulation :

- ☐ de la description, pages :
☐ des revendications, n°s :
☐ des dessins, feuilles :

3. ☐ Le présent rapport a été formulé abstraction faite (de certaines) des modifications, qui ont été considérées comme allant au-delà de l'exposé de l'invention tel qu'il a été déposé, comme il est indiqué ci-après (règle 70.2(c)) :

4. Observations complémentaires, le cas échéant :

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**RAPPORT D'EXAMEN
PRELIMINAIRE INTERNATIONAL**

Demande internationale n° PCT/EP98/07538

V. Déclaration motivée selon l'article 35(2) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration

1. Déclaration

Nouveauté	Oui : Revendications 5-13, 17-25
	Non : Revendications 1-4, 14-16
Activité inventive	Oui : Revendications
	Non : Revendications 5-13, 17-25
Possibilité d'application industrielle	Oui : Revendications 1-25
	Non : Revendications

2. Citations et explications

voir feuille séparée

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Concernant le point V

Déclaration motivée selon l'article 35(2) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration

1. La demande 1 ne satisfait pas les critères figurant à l'Article 33 PCT pour les raisons suivantes:-
 - 1.1 Le procédé de la revendication 1 n'est pas nouveau au vu de l'état de la technique.

Le document D1 (WO, 90 04 218, A) divulgue en particulier dans figure 4 et la description correspondante un procédé pour produire un hologramme 50 à partir d'un objet virtuel 30 défini dans un espace géométrique à trois dimensions (page 3, deuxième paragraphe), le procédé comprenant les étapes suivantes:

- * produire par calcul un ensemble d'images bidimensionnelles 200, 400 représentatives de l'objet 30 selon des points de vue respectifs différents 52, 54 dans l'espace à trois dimensions (voir également page 13, ligne 2 à page 14, ligne 34);
- * produire par calcul des hologrammes correspondant respectivement auxdites image bidimensionnelles (voir page 19, ligne 29 à page 20, ligne 3: "The hologram element is calculated from the pixel map as a Fourier transform"); et
- * combiner lesdits hologrammes dans une même image numérique pour former un hologramme composite de l'objet (voir figures 3A, 3B: hologramme composite 50 construit des hologrammes 52, 54; voir page 19, ligne 29 à page 20, ligne 3).

N.B: Le calcul numérique de l'hologramme composite et son enregistrement subséquente par un jet électronique comme décrits dans le document D1 impliquent nécessairement une étape où les hologrammes individuels sont combinés dans une même image numérique.

Donc, le procédé défini dans la revendication 1 ne peut pas être considéré comme nouveau, car pour chaque étape se retrouve une caractéristique

THIS PAGE BLANK (USPTO)

correspondante dans le document D1.

1.2 Le procédé de la revendication 10 n'implique pas d'activité inventive.

Le document D1 divulgue un procédé pour produire une image tridimensionnelle à partir d'un objet virtuel 3D défini dans un espace géométrique à trois dimensions, le procédé comprenant les étapes suivantes:

- * produire un hologramme composite selon le procédé défini dans la revendication 1 (voir section 1.1 ci-dessus);
- * reproduire physiquement ledit hologramme sur un élément d'enregistrement (voir page 19, ligne 15 à page 20, ligne 3), et
- * éclairer l'élément d'enregistrement afin de restituer une image tridimensionnelle de l'objet à partir de cet hologramme composite (voir page 2, ligne 25 à page 3, ligne 5).

Donc, le procédé revendiqué se distingue de celui du document D1 en ce que l'élément d'enregistrement comprend un modulateur spatial de lumière, (tandis que dans le document D1 des éléments photosensibles sont utilisés). Le problème à résoudre peut donc être considéré comme étant l'affichage de l'hologramme en temps réel.

Le document D2 (US, 5 668 648, A) concerne la synthèse numérique d'hologrammes. Il suit du document D2 que l'utilisation d'un modulateur spatial de lumière pour afficher des hologrammes numériques en temps réel est bien connue (voir la présentation de l'art connue dans la section "Background"; voir page 5, lignes 45 à 51). Par conséquent, il est évident pour la personne du métier de remplacer, dans un système selon le document D1, l'élément photosensible par un modulateur spatial de lumière. Ainsi, la personne du métier arriverait, sans qu'une activité inventive soit impliquée, au procédé revendiqué.

1.3 Les observations ci-dessus s'appliquent d'une manière similaire aux revendications 14 et 22.

THIS PAGE BLANK (03/27/10)

2. Les revendications dépendantes ne contiennent aucune caractéristique qui, en combinaison avec celles de l'une quelconque des revendications à laquelle elles se réfèrent, définisse un objet qui satisfasse aux exigences du PCT en ce qui concerne la nouveauté et/ou l'activité inventive, et ce pour les raisons suivantes:
 - 2.1 Les étapes définies dans les revendications 2, 3, 4 et 9 sont connues du document D1 (voir figure 4: la matrice 50 des hologrammes élémentaires 52, 54; voir la projections des images de l'objet sur un second plan géométrique 200 intercalé entre l'objet 30 et ladite matrice 50; voir page 19, ligne 29 à page 20, ligne 3: transformation de Fourier; voir figure 3B: la matrice 50 formée par juxtaposition des hologrammes élémentaires).
 - 2.2 Le document D4 (S.Michelin et al.: "Fourier-transform computer-generated hologram: a variation of the off-axis principle", SPIE Vol.2176 Practical Holography VIII, 1994) divulgue les étapes définies dans les revendications 5, 6, 7 et 8 (voir en particulier les figures 1, 4 et la description correspondante).
 - 2.3 Les caractéristiques des revendications 11 et 12 sont anticipées par le document D2 (colonne 1, ligne 31: écran à cristaux liquides; voir figure 12: trois sources lumineuses 230a, 230b, 230c de couleurs différentes éclairant le modulateur spatial SLM).
 - 2.4 La reproduction consécutive d'une séquence d'hologrammes afin d'obtenir une animation en trois dimensions est bien connue dans l'art d'holographie.
 - 2.5 Les remarques ci-dessus s'appliquent d'une manière analogue aux revendications 15 à 21 et 23 à 25.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

REVENDICATIONS

1. Procédé pour produire un hologramme à partir d'un objet virtuel (6) défini dans un espace géométrique à trois dimensions (O, x, y, z), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
 - produire par calcul (E1-E4) un ensemble d'images bidimensionnelles (80_{nm}) représentatives de l'objet selon des points de vue respectifs différents dans l'espace à trois dimensions,
 - produire par calcul (E5-E6) des hologrammes (90_{nm}) correspondant respectivement auxdites images bidimensionnelles, et combiner (E7) lesdits hologrammes (90_{nm}) dans une même image numérique pour former un hologramme (9) de l'objet (6).
2. Procédé conforme à la revendication 1, selon lequel l'étape de produire par calcul l'ensemble d'images bidimensionnelles comprend les étapes suivantes :
 - définir (E1-E2) dans l'espace à trois dimensions une matrice de points (70_{nm}) située dans un premier plan géométrique (7) disjoint de l'objet (6), et projeter (E3-E4) les images de l'objet vues depuis respectivement les points (70_{nm}) de ladite matrice sur un second plan géométrique (8), qui est de préférence intercalé entre l'objet (6) et le premier plan (7) et parallèle au premier plan, les images projetées constituant lesdites images bidimensionnelles (80_{nm}).
3. Procédé conforme à la revendication 2, selon lequel ladite étape de projeter consiste, pour chaque point (70_{nm}) de la matrice, à projeter des points (60) de l'objet (6) sur le second plan (8) suivant des droites respectives passant par lesdits points de l'objet et ledit chaque point de la matrice.
4. Procédé conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 3, selon lequel ladite étape (E5-E6) de produire par calcul les hologrammes est mise en œuvre selon une technique utilisant la transformation de Fourier.
5. Procédé conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 4, selon lequel lesdites images bidimensionnelles (80_{nm}) sont définies par des fonctions réelles respectives ($f_{nm}(Y, Z)$) et ladite étape (E5-E6) de produire

THIS PAGE BLANK (USPTO)

spatial de lumière, des images animées en trois dimensions de l'objet (6) soient restituées.

14. Dispositif pour produire un hologramme à partir d'un objet virtuel (6) défini dans un espace géométrique à trois dimensions (O, x, y, z) , caractérisé en ce qu'il comprend :

un moyen (1) pour mémoriser l'objet virtuel (6) défini dans l'espace géométrique à trois dimensions (O, x, y, z) ,

- un premier moyen de calcul (1) pour produire un ensemble d'images bidimensionnelles (80_{nm}) représentatives de l'objet (6) selon des points de vue respectifs différents dans l'espace à trois dimensions,

un second moyen de calcul (1) pour produire des hologrammes (90_{nm}) correspondant respectivement auxdites images bidimensionnelles (80_{nm}) , et

- un moyen de combinaison (1) pour combiner dans une même image numérique lesdits hologrammes (90_{nm}) de manière à former un hologramme (9) de l'objet (6).

15. Dispositif conforme à la revendication 14, dans lequel ledit premier moyen de calcul comprend un moyen de calcul de projection (1) pour calculer la projection d'images de l'objet (6), vues depuis respectivement les points (70_{nm}) d'une matrice de points située dans un premier plan géométrique (7) disjoint de l'objet (6), sur un second plan géométrique (8) qui est de préférence intercalé entre l'objet (6) et le premier plan (7) et parallèle au premier plan (7) dans l'espace géométrique à trois dimensions (O, x, y, z) .

16. Dispositif conforme à la revendication 15, dans lequel ledit moyen de calcul de projection comprend un moyen (1) pour calculer la projection, pour chaque point (70_{nm}) de la matrice, de points (60) de l'objet (6) sur le second plan (8) suivant des droites respectives passant par lesdits points de l'objet et ledit chaque point de la matrice.

17. Dispositif conforme à l'une quelconque des revendications 14 à 16, dans lequel lesdites images bidimensionnelles (80_{nm}) sont définies par des fonctions réelles respectives $(f_{nm}(Y, Z))$ et le second moyen de calcul comprend :

THIS PAGE BLANK (USPTO)

PCT

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

(article 18 et règles 43 et 44 du PCT)

Référence du dossier du déposant ou du mandataire 8966BMA657FD	POUR SUITE voir la notification de transmission du rapport de recherche internationale (formulaire PCT/ISA/220) et, le cas échéant, le point 5 ci-après A DONNER	
Demande internationale n° PCT/EP 98/07538	Date du dépôt international (jour/mois/année) 17/11/1998	(Date de priorité (la plus ancienne) (jour/mois/année) 20/11/1997
Déposant EUROPEAN COMMUNITY (EC) et al.		

Le présent rapport de recherche internationale, établi par l'administration chargée de la recherche internationale, est transmis au déposant conformément à l'article 18. Une copie en est transmise au Bureau international.

Ce rapport de recherche internationale comprend 3 feuilles.



Il est aussi accompagné d'une copie de chaque document relatif à l'état de la technique qui y est cité.

1. Base du rapport

- a. En ce qui concerne la **langue**, la recherche internationale a été effectuée sur la base de la demande internationale dans la langue dans laquelle elle a été déposée, sauf indication contraire donnée sous le même point.



la recherche internationale a été effectuée sur la base d'une traduction de la demande internationale remise à l'administration.

- b. En ce qui concerne les **séquences de nucléotides ou d'acides aminés** divulguées dans la demande internationale (le cas échéant), la recherche internationale a été effectuée sur la base du listage des séquences :



contenu dans la demande internationale, sous forme écrite.



déposée avec la demande internationale, sous forme déchiffrable par ordinateur.



remis ultérieurement à l'administration, sous forme écrite.



remis ultérieurement à l'administration, sous forme déchiffrable par ordinateur.



La déclaration, selon laquelle le listage des séquences présenté par écrit et fourni ultérieurement ne vas pas au-delà de la divulgation faite dans la demande telle que déposée, a été fournie.



La déclaration, selon laquelle les informations enregistrées sous forme déchiffrable par ordinateur sont identiques à celles du listage des séquences présenté par écrit, a été fournie.

2. ☐ Il a été estimé que certaines revendications ne pouvaient pas faire l'objet d'une recherche (voir le cadre I).

3. ☐ Il y a absence d'unité de l'invention (voir le cadre II).

4. En ce qui concerne le **titre**,

le texte est approuvé tel qu'il a été remis par le déposant.



Le texte a été établi par l'administration et a la teneur suivante:

5. En ce qui concerne l'**abrégé**,

le texte est approuvé tel qu'il a été remis par le déposant



le texte (reproduit dans le cadre III) a été établi par l'administration conformément à la règle 38.2b). Le déposant peut présenter des observations à l'administration dans un délai d'un mois à compter de la date d'expédition du présent rapport de recherche internationale.

6. La figure **des dessins** à publier avec l'abrégé est la Figure n°

suggérée par le déposant.



parce que le déposant n'a pas suggéré de figure.



parce que cette figure caractérise mieux l'invention.

3



Aucune des figures n'est à publier.

THIS PAGE BLANK (uspto)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

EP 98/07538

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9004218	A	19-04-1990	US 4969700 A	13-11-1990
			AU 4484689 A	01-05-1990
			CA 2000819 A	14-04-1990
			DE 68926453 D	13-06-1996
			EP 0407497 A	16-01-1991
			JP 3502615 T	13-06-1991
			US 5194971 A	16-03-1993

US 5668648	A	16-09-1997	JP 5150701 A	18-06-1993
			JP 5150702 A	18-06-1993
			US 5347375 A	13-09-1994

EP 0588617	A	23-03-1994	JP 6102811 A	15-04-1994
			CA 2105445 A	19-03-1994
			US 5513020 A	30-04-1996

THIS PAGE BLANK (USPTO)



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁶ : G03H 1/08, 1/26		A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 99/27421
			(43) Date de publication internationale: 3 juin 1999 (03.06.99)
(21) Numéro de la demande internationale: PCT/EP98/07538 (22) Date de dépôt international: 17 novembre 1998 (17.11.98) (30) Données relatives à la priorité: 97402797.1 20 novembre 1997 (20.11.97) EP (71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): EUROPEAN COMMUNITY (EC) [-/LU]; Rue Alcide de Gaspéri, L-2920 Luxembourg (LU). (72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): GROSSETIE, Jean-Claude [FR/IT]; Via Enrico Fermi, 8, I-21027 Ispra (IT). NOIRARD, Pierre [FR/FR]; 4, rue des Roses, F-67640 Lipsheim (FR). (74) Mandataires: JOLY, Jean-Jacques etc.; Cabinet Beau de Loménie, 158, rue de l'Université, F-75340 Paris Cedex 07 (FR).		(81) Etats désignés: CA, JP, NO, US. Publiée <i>Avec rapport de recherche internationale.</i>	

(54) Title: COMPUTER-ASSISTED HOLOGRAPHIC METHOD AND DEVICE

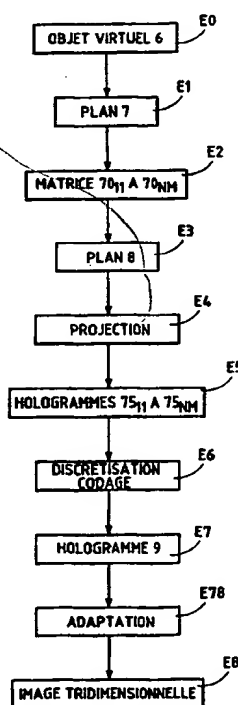
(54) Titre: PROCÉDE ET DISPOSITIF HOLOGRAPHIQUES ASSISTES PAR ORDINATEUR

(57) Abstract

The invention concerns a method which consists in computing (E1-E4), in a three-dimensional geometric space, a set of two-dimensional images representing a virtual object from different respective viewpoints. The virtual object is represented by digital data stored in a computer. The holograms are computed (E5-E6) for the two-dimensional images respectively by a complex transform, such as a Fourier transform technique. The holograms are then juxtaposed (E7) to form a digital hologram of the object, which is physically reproduced (E8) by a light spatial modulator. By illuminating the light spatial modulator with a coherent source, a three-dimensional image of the object is obtained.

(57) Abrégé

Le procédé consiste à calculer (E1-E4), dans un espace géométrique à trois dimensions, un ensemble d'images bidimensionnelles représentatives d'un objet virtuel selon des points de vue respectifs différents. L'objet virtuel est représenté par des données numériques stockées dans un ordinateur. Des hologrammes sont calculés (E5-E6) pour respectivement les images bidimensionnelles selon une technique de transformation rapide complexe, telle qu'une technique de transformation de Fourier. Les hologrammes sont ensuite juxtaposés (E7) pour former un hologramme numérique de l'objet, qui est reproduit (E8) physiquement par un modulateur spatial de lumière. En éclairant le modulateur spatial de lumière par une source cohérente, une image en trois dimensions de l'objet est alors obtenue.



E0... VIRTUAL OBJECT
 E1... GEOMETRIC DESIGN 7
 E2... MATRIX 7011 A 7011
 E3... GEOMETRIC DESIGN 8
 E5... HOLOGRAMS 7511 A 7511
 E6... DISCRETIZATION CODING
 E7... HOLOGRAM 9
 E8... THREE-DIMENSIONAL IMAGE

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

Procédé et dispositif holographiques assistés par ordinateur

La présente invention concerne de manière générale la restitution d'images en trois dimensions, et plus particulièrement la synthèse numérique d'hologrammes et la restitution d'images en trois dimensions à partir de ces hologrammes.

Plusieurs techniques de restitution d'images en trois dimensions sont connues.

Certains dispositifs, dits « stéréoscopiques », produisent deux images décalées d'une même scène qui sont chacune vues par un œil respectif d'un observateur. La profondeur du champ et le volume sont alors reconstruits par le cerveau de l'observateur. La majorité de ces dispositifs nécessitent le port d'accessoires encombrants tels que lunettes ou casques pour séparer et différencier les images que l'on envoie à chaque œil. En outre, ils ne présentent qu'un angle de vision binoculaire de la scène à représenter.

Une autre technique, dite « autostéréoscopique », consiste, dans un cas particulier, à prendre une photographie d'une scène à travers un maillage plan de lentilles suffisamment petites, de façon à associer à chaque lentille un point de vue de la scène photographiée. La photographie ainsi obtenue donne l'illusion de relief, mais produit un effet de profondeur limité. Cette méthode ne respecte pas l'accommodation oculaire naturelle, et permet difficilement, dans l'état actuel de la technique, la restitution d'images tridimensionnelles en temps réel.

L'holographie est la méthode de restitution d'images tridimensionnelles la plus fidèle, puisqu'elle permet de restituer le champ optique tel qu'il est émis par la scène. Cette méthode respecte notamment parfaitement l'accommodation oculaire. L'holographie analogique consiste à projeter une onde optique cohérente émise par un laser sur un objet, à recueillir à partir de cette onde une onde optique diffusée par l'objet, et à faire interférer cette onde optique diffusée avec une onde de référence constituée par une autre partie du faisceau émis par le laser pour produire un champ d'interférences. Le champ d'interférences est enregistré sur un support photosensible tel qu'une plaque photographique. Une image en trois

dimensions de la scène initiale peut alors être observée en éclairant la plaque photographique par une onde cohérente. Cette méthode purement analogique offre une excellente qualité de restitution, mais ne permet pas la restitution d'images tridimensionnelles en temps réel.

5 Des méthodes holographiques numériques destinées à produire des images tridimensionnelles en temps réel existent. Le brevet américain US 5 668 648 décrit un dispositif holographique assisté par ordinateur capable de synthétiser numériquement l'hologramme d'un objet virtuel et de restituer une image à partir de cet hologramme. L'objet virtuel est
10 échantillonné en des points d'échantillonnage, qui sont considérés comme autant de sources optiques sphériques élémentaires. Des champs de diffraction sont calculés respectivement pour ces points d'échantillonnage, puis sont superposés. Une technique d'interpolation est utilisée pour améliorer la résolution du champ de diffraction résultant. Un champ
15 d'interférences, ou hologramme, est alors généré en fonction du champ de diffraction résultant et de données représentatives d'une onde de référence, pour être reproduit physiquement par un modulateur spatial de lumière.

La synthèse numérique d'hologramme selon la méthode ci-dessus nécessite des calculs longs et compliqués, notamment pour
20 déterminer un champ de diffraction associé à chaque point d'échantillonnage de l'objet et pour interpoler le champ de diffraction résultant.

La présente invention vise à fournir un procédé de synthèse holographique capable de générer numériquement en temps réel des
25 hologrammes, nécessitant de manière générale moins de calculs que les procédés de la technique antérieure, et permettant d'assurer une restitution spatiale tridimensionnelle d'images.

A cette fin, il est prévu un procédé pour produire un hologramme à partir d'un objet virtuel défini dans un espace géométrique à trois
30 dimensions, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

produire par calcul un ensemble d'images bidimensionnelles représentatives de l'objet selon des points de vue respectifs différents dans l'espace à trois dimensions,

produire par calcul des hologrammes correspondant respectivement auxdites images bidimensionnelles, et combiner lesdits hologrammes pour former un hologramme de l'objet.

5 Par objet virtuel, on entend des données représentatives d'un objet réel, qui sont par exemple mémorisées dans un ordinateur.

Les étapes définies ci-dessus constituent un modèle numérique de la production d'un hologramme analogique d'un objet tridimensionnel. En effet, un tel hologramme analogique est constitué par une combinaison
10 d'hologrammes, ou champs diffractifs, élémentaires qui, lorsqu'ils sont individuellement éclairés par un pinceau de lumière cohérente, permettent de restituer des images bidimensionnelles représentatives de l'objet considéré selon des points de vue respectifs différents.

Avantageusement, l'étape de produire par calcul l'ensemble
15 d'images bidimensionnelles comprend les étapes suivantes :

définir dans l'espace à trois dimensions une matrice de points située dans un premier plan géométrique disjoint de l'objet, et

projeter les images de l'objet vues depuis respectivement les points de ladite matrice sur un second plan géométrique, qui est de
20 préférence intercalé entre l'objet et le premier plan et parallèle au premier plan, les images projetées constituant lesdites images bidimensionnelles.

De préférence, l'étape de projeter consiste, pour chaque point de la matrice, à projeter des points de l'objet sur le second plan suivant des droites respectives passant par lesdits points de l'objet et ledit chaque point
25 de la matrice.

Selon l'invention, les images bidimensionnelles sont définies par des fonctions réelles respectives et l'étape de produire par calcul les hologrammes comprend les étapes suivantes pour une image bidimensionnelle donnée :

30 transformer l'image bidimensionnelle donnée définie par la fonction réelle correspondante en une image bidimensionnelle complexe définie par une fonction complexe,

suréchantillonner l'image complexe,

simuler la production d'une image diffractée résultant de la diffraction d'une onde optique par l'image complexe suréchantillonnée, additionner un champ complexe représentatif d'une onde optique de référence à l'image diffractée résultante, et

- 5 coder des valeurs prises par l'amplitude de la somme dudit champ complexe et de l'image diffractée résultante afin de produire l'hologramme associé à l'image bidimensionnelle donnée.

Par fonction réelle ou complexe, on entend ici une fonction à deux variables prenant des valeurs réelles ou complexes respectivement. La
10 fonction réelle est typiquement une distribution d'intensités, alors que la fonction complexe est une distribution de nombres complexes définis chacun par une amplitude et une phase réelles.

L'étape de transformer l'image bidimensionnelle donnée en une image complexe permet de déterminer, à partir de l'image bidimensionnelle
15 donnée, une image qui est décrite par des nombres complexes qui représentent au mieux le champ optique réel et facilitent les calculs mis en œuvre dans l'étape de simuler la production d'une image diffractée.

L'étape de suréchantillonner l'image complexe permet d'augmenter le nombre de pixels de l'hologramme résultant de l'image
20 bidimensionnelle donnée, puisque le calcul mis en œuvre au cours des étapes suivantes de simuler et additionner sont effectués sur un plus grand nombre de points d'image. L'étape de suréchantillonner peut consister à insérer l'image complexe dans une image plus grande dans laquelle l'intensité des pixels extérieurs à l'image complexe initiale est choisie égale
25 à 0. Dans ce cas, le fait de mettre en œuvre l'étape de suréchantillonner l'image complexe après les étapes de transformer l'image bidimensionnelle en une image complexe évite de devoir calculer la fonction complexe pour les points de l'image suréchantillonnée extérieurs à l'image complexe initiale.

- 30 L'étape de transformer peut comprendre les étapes suivantes :
déterminer des valeurs d'amplitude dépendant chacune de la racine carrée d'une valeur correspondante prise par la fonction réelle de l'image bidimensionnelle donnée, et

associer une phase à chacune des valeurs d'amplitude de sorte qu'une valeur d'amplitude et une valeur de phase soient définies pour chaque point de l'image complexe.

Le fait d'associer une phase à chaque valeur d'amplitude permet
5 d'éviter que l'hologramme résultant de l'image bidimensionnelle donnée présente des pics d'amplitude trop élevés, en moyennant les valeurs d'amplitude de cet hologramme.

L'étape de simuler la production d'une image diffractée peut comprendre le calcul d'au moins l'une des transformations complexes
10 suivantes : transformation de Fourier, transformation de Walsh, transformation de Hankel, transformation de polynômes orthogonaux, transformation de Hadamar, transformation de Karhunen-Loeve, transformation d'ondelettes discrètes en mutirésolution, transformation d'ondelettes adaptatives, et transformation résultant de la composition d'au
15 moins deux des transformations précitées.

Le choix de la transformation complexe peut dépendre de la distance entre les premier et second plans géométriques, chaque transformation complexe étant plus particulièrement adaptée pour une plage
prédéterminée de distances entre les premier et second plans géométriques.

20 Plus précisément, l'étape de simuler la production d'une image diffractée peut consister à calculer un produit de convolution, associé à l'image complexe suréchantillonnée, de deux composantes, en appliquant la transformation inverse de ladite transformation complexe au produit des transformations complexes respectives desdites deux composantes.

25 Jusqu'à présent, l'homme du métier considérait que pour calculer un tel produit de convolution, la transformation de Fourier était la meilleure transformation possible, puisque cette transformation est largement utilisée en optique. Il a toutefois été trouvé expérimentalement par les présents inventeurs que l'utilisation, parmi les transformations complexes
30 mentionnées ci-dessus, de l'une des transformations autres que la transformation de Fourier permet de produire un hologramme résultant pour une image bidimensionnelle donnée de bien meilleure qualité, c'est-à-dire un hologramme qui, lorsqu'il est reproduit physiquement et éclairé par une source cohérente, permet de restituer une image associée à l'image

bidimensionnelle donnée plus fine que celles généralement produites par les systèmes de la technique antérieure.

L'étape de combiner les hologrammes peut consister notamment à juxtaposer les hologrammes des images bidimensionnelles dans une même
5 image numérique constituant l'hologramme de l'objet.

La présente invention concerne également un procédé pour produire une image tridimensionnelle à partir d'un objet virtuel défini dans un espace géométrique à trois dimensions, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

10 produire un hologramme de l'objet selon le procédé défini ci-dessus,

reproduire physiquement l'hologramme de l'objet sur un modulateur spatial de lumière, et

15 éclairer le modulateur spatial de lumière afin de restituer une image tridimensionnelle de l'objet à partir de cet hologramme.

Selon un aspect de l'invention, l'étape d'éclairer le modulateur spatial de lumière consiste à éclairer celui-ci alternativement par trois ondes optiques respectivement représentatives des couleurs Rouge, Vert et Bleu en synchronisme avec la reproduction par le modulateur spatial de lumière
20 d'une séquence d'hologrammes de l'objet produits selon le procédé de production d'hologrammes défini ci-dessus et correspondant chacun à l'une desdites trois couleurs, de sorte qu'une image tridimensionnelle en couleur de l'objet soit restituée.

Egalement, une séquence d'hologrammes peut être reproduite
25 physiquement par le modulateur spatial de lumière, chacun des hologrammes de cette séquence étant produit selon le procédé de production d'hologrammes défini ci-dessus, de sorte qu'après l'étape d'éclairer le modulateur spatial de lumière, des images animées en trois dimensions de l'objet puissent être restituées.

30 La présente invention concerne également un dispositif pour produire un hologramme à partir d'un objet virtuel défini dans un espace géométrique à trois dimensions, caractérisé en ce qu'il comprend :

un moyen pour mémoriser l'objet virtuel défini dans l'espace géométrique à trois dimensions,

un premier moyen de calcul pour produire un ensemble d'images bidimensionnelles représentatives de l'objet selon des points de vue respectifs différents dans l'espace à trois dimensions,

un second moyen de calcul pour produire des hologrammes
5 correspondant respectivement aux images bidimensionnelles, et

un moyen de combinaison pour combiner lesdits hologrammes de manière à former un hologramme de l'objet.

Le premier moyen de calcul peut comprendre un moyen de calcul de projection pour calculer la projection d'images de l'objet, vues depuis
10 respectivement les points d'une matrice de points située dans un premier plan géométrique disjoint de l'objet, sur un second plan géométrique qui est de préférence intercalé entre l'objet et le premier plan et parallèle au premier plan dans l'espace géométrique à trois dimensions.

Le moyen de calcul de projection peut comprendre un moyen
15 pour calculer la projection, pour chaque point de la matrice, de points de l'objet sur le second plan suivant des droites respectives passant par lesdits points de l'objet et ledit chaque point de la matrice.

Avantageusement, le second moyen de calcul comprend :

un moyen de transformation pour transformer une image
20 bidimensionnelle donnée définie par une fonction réelle en une image complexe définie par une fonction complexe,

un moyen pour suréchantillonner l'image complexe,

un moyen de simulation pour simuler la production d'une image diffractée résultant de la diffraction d'une onde optique par l'image
25 complexe suréchantillonnée,

un moyen pour additionner un champ complexe représentatif d'une onde optique de référence à l'image diffractée résultante, et

un moyen pour coder des valeurs prises par l'amplitude de la somme dudit champ complexe et de l'image diffractée afin de produire
30 l'hologramme associé à l'image bidimensionnelle donnée.

Le moyen de transformation peut comprendre :

un moyen pour déterminer des valeurs d'amplitude dépendant chacune de la racine carrée d'une valeur correspondante prise par la fonction réelle, et

un moyen pour associer une phase à chacune des valeurs d'amplitude de sorte qu'une valeur d'amplitude et une valeur de phase soient définies pour chaque point de l'image complexe.

Le moyen de simulation peut comprendre un moyen pour
5 calculer l'une des transformations complexes suivantes : transformation de Fourier, transformation de Walsh, transformation de Hankel, transformation de polynômes orthogonaux, transformation de Hadamar, transformation de Karhunen-Loeve, transformation d'ondelettes discrètes en mutirésolution, et transformation d'ondelettes adaptatives.

10 Plus particulièrement, le moyen de simulation peut comprendre un moyen pour calculer un produit de convolution, associé à l'image complexe suréchantillonnée, de deux composantes, en appliquant la transformation inverse de ladite transformation complexe au produit des transformations complexes respectives desdites deux composantes.

15 Le moyen de combinaison peut comprendre un moyen pour juxtaposer les hologrammes des images bidimensionnelles dans une même image numérique constituant l'hologramme de l'objet.

La présente invention concerne également un dispositif pour produire une image tridimensionnelle à partir d'un objet virtuel défini dans
20 un espace géométrique à trois dimensions, caractérisé en ce qu'il comprend :

un dispositif tel que défini ci-dessus pour produire un hologramme de l'objet,

un modulateur spatial de lumière pour reproduire physiquement
25 l'hologramme de l'objet, et

une source lumineuse pour éclairer le modulateur spatial de lumière afin de restituer une image tridimensionnelle de l'objet à partir de cet hologramme.

Le modulateur spatial de lumière comprend un écran à cristaux
30 liquides ayant un pas de pixels (en anglais : pitch) inférieur à 10 μm et de préférence compris entre 1 μm et 2 μm suivant au moins deux directions distinctes. Par « pas de pixels », on entend la période de reproduction des pixels suivant une direction donnée, qui correspond, pour chaque pixel, à la somme de la dimension du pixel suivant la direction donnée et de la

distance séparant ce pixel d'un pixel adjacent suivant cette même direction. La distance entre deux pixels est choisie pour être la plus petite possible et de préférence sensiblement nulle. Les deux directions distinctes précitées correspondent respectivement à des lignes et colonnes de pixels sur l'écran
5 à cristaux liquides.

Ledit dispositif pour produire un hologramme de l'objet, le modulateur spatial de lumière et la source lumineuse peuvent être situés sur un même site. En variante, le dispositif pour produire un hologramme de l'objet est situé sur un premier site, et le modulateur spatial de lumière et la
10 source lumineuse sont situés sur un second site, les premier et second sites étant distants l'un de l'autre.

D'autres avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée suivante en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- 15 - la figure 1 est un schéma-bloc d'un dispositif holographique selon un premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 2 est un schéma de la structure d'un modulateur spatial de lumière (SLM) utilisé dans le dispositif de la figure 1 ;
- la figure 3 est un organigramme d'un algorithme mis en œuvre
20 dans le dispositif de la figure 1 ;
- la figure 4 est un schéma illustrant une projection d'images effectuée par l'algorithme de la figure 3 ;
- la figure 5 est un organigramme d'un algorithme de production d'un hologramme à partir d'une image bidimensionnelle, mis en œuvre dans
25 le dispositif de la figure 1 ;
- la figure 6 est un schéma illustrant le suréchantillonnage d'une image bidimensionnelle tel qu'il est mis en œuvre par l'algorithme représenté à la figure 5 ;
- la figure 7 illustre la production d'un hologramme à partir d'une
30 image bidimensionnelle ;
- la figure 8 est un schéma montrant un hologramme numérique généré selon l'algorithme représenté à la figure 3 ; et
- la figure 9 est un schéma-bloc d'un dispositif holographique selon un second mode de réalisation de l'invention.

En référence à la figure 1, un dispositif holographique selon un premier mode de réalisation de l'invention comprend un ordinateur 1, un modulateur spatial de lumière 2 (en anglais : Spatial Light Modulator), une interface pilote 3 pour commander le modulateur spatial de lumière 2 en fonction de signaux émis par l'ordinateur 1, et une source lumineuse 4.

L'ordinateur 1 contient dans une mémoire (non représentée) un objet tridimensionnel virtuel. Cet objet virtuel est défini par exemple par un ensemble de triplets de coordonnées dans un repère de l'espace à trois dimensions, chaque triplet de coordonnées correspondant à un point sur la surface externe de l'objet. L'objet virtuel est typiquement obtenu de manière classique par conception assistée par ordinateur (CAO), ou par toute autre méthode de synthèse volumique d'images, telle que la tomographie, ou une méthode de radiosité ou de lancer de rayons associée à un modéleur géométrique tridimensionnel.

L'ordinateur 1 contient également dans une mémoire un algorithme de génération d'hologramme, qui sera décrit plus loin en référence aux figures 3 à 5, pour produire un hologramme numérique correspondant à l'objet virtuel. L'ordinateur 1 commande alors le modulateur spatial 2 par l'intermédiaire du pilote 3 de sorte que l'hologramme généré numériquement par l'ordinateur 1 soit reproduit physiquement par le modulateur spatial 2.

La source lumineuse 4 est une source capable d'émettre de la lumière cohérente à une longueur d'onde prédéterminée λ , telle qu'un laser ou une source de lumière blanche associée à un filtre dichroïque ou interférentiel. La longueur de cohérence de la source lumineuse 4 est en outre prédéfinie en fonction des dimensions caractéristiques du modulateur spatial de lumière 2, d'une manière connue de l'homme du métier. Dans le mode de réalisation montré à la figure 1, la source lumineuse 4 est disposée de façon à éclairer le modulateur spatial 2 en transmission.

Le modulateur spatial 2 comprend un réseau de cellules diffractives commandées pour reproduire physiquement l'hologramme numérique précité et qui diffractent la lumière émise par la source lumineuse 4 afin qu'un observateur 5 placé devant le modulateur spatial 2 puisse observer, grâce à la reconstruction holographique, une image

tridimensionnelle de l'objet virtuel. Le modulateur spatial de lumière 2, dit également « écran holographique » dans l'application particulière de l'holographie, est typiquement un écran à cristaux liquides dont les états sont transparents ou opaques et dont le pas p des pixels (en anglais : pitch) suivant les directions horizontale et verticale est inférieur à $10\text{ }\mu\text{m}$ et de préférence compris entre $1\text{ }\mu\text{m}$ et $2\text{ }\mu\text{m}$. Le pas p des pixels est défini, suivant la direction horizontale ou verticale, comme la somme de la dimension d'un pixel donné suivant cette direction et de la distance entre le pixel donné et un pixel adjacent suivant cette même direction.

La figure 2 montre schématiquement la structure d'un écran à cristaux liquides utilisé dans la présente invention comme modulateur spatial 2. L'écran à cristaux liquides 2 est subdivisé en un nombre entier prédéterminé $N \times M$ d'écrans élémentaires 20_{11} à 20_{NM} agencés selon une matrice, chaque écran élémentaire comprenant un nombre entier prédéterminé $K \times Q$ de pixels, ou cellules diffractives élémentaires. Typiquement, les dimensions de chaque écran élémentaire sont de $1\text{mm} \times 1\text{mm}$. Dans la réalisation montrée à la figure 2, la distance entre deux pixels adjacents est quasi-nulle, de sorte que le pas p des pixels est égal à la longueur des pixels suivant la direction horizontale ou verticale. L'intérêt de cette structure d'écran apparaîtra plus clairement à la lecture de la suite de la description.

Les figures 3 à 5 illustrent le procédé conforme à l'invention. En particulier, la figure 3 montre un algorithme mis en œuvre en partie dans l'ordinateur 1 de la figure 1.

A une étape préliminaire $E0$ de l'algorithme, un objet, ou une scène, virtuel en trois dimensions 6 est stocké dans une mémoire de l'ordinateur 1. L'objet virtuel 6 est défini, comme décrit précédemment, par les coordonnées dans un repère tridimensionnel (O, x, y, z) de points 60 constituant sa surface externe.

A une première étape $E1$, un premier plan géométrique 7, dit également plan de calcul d'hologramme, est défini. Le premier plan 7 est disposé, dans le repère tridimensionnel (O, x, y, z) , à une distance non nulle $D1$ de l'objet virtuel 6 de sorte que le plan 7 et l'objet 6 soient complètement disjoints, comme montré sur la figure 4.

A une étape suivante E2, une partie du premier plan 7 est échantillonnée de manière à définir une matrice constituée par $N \times M$ points d'échantillonnage 70_{11} à 70_{NM} régulièrement répartis. Chaque point d'échantillonnage 70_{nm} , où n et m sont des entiers respectivement compris
5 entre 1 et N , et 1 et M , voit l'objet virtuel 6 selon un point de vue respectif. L'image de l'objet 6 vue par un point d'échantillonnage donné 70_{nm} est inscrite dans un cône 71_{nm} de sommet le point donné 70_{nm} , de génératrices les demi-droites 72_{nm} ayant pour origine le point donné 70_{nm} et qui s'appuient sur le contour apparent 73_{nm} de l'objet 6 vu depuis le point donné
10 70_{nm} , et de base la surface 74_{nm} délimitée par le contour apparent 73_{nm} . Sur la figure 4, un seul cône 71_{nm} a été représenté pour une meilleure clarté du dessin.

A une étape E3 de l'algorithme, un second plan 8, dit également plan de projection, est défini dans le repère tridimensionnel (O, x, y, z) . Le
15 second plan 8 est disjoint du premier plan 7 et est de préférence intercalé entre l'objet virtuel 6 et le premier plan 7, à une distance $D2$ non nulle du premier plan 7, et parallèle au premier plan 7. La distance $D2$ entre les plans 7 et 8 correspond en pratique à la distance, mesurée à partir du modulateur spatial 2, à laquelle l'image en trois dimensions de l'objet est restituée et perçue par l'observateur 5 (Cf. figure 1).
20

A une étape E4, l'image de l'objet virtuel 6 vue depuis chaque point d'échantillonnage 70_{nm} est projetée sur le second plan 8 selon une projection de type conique, de sorte que l'image projetée bidimensionnelle résultante 80_{nm} soit inscrite dans le cône 71_{nm} comme montré sur la figure 4.
25 Plus précisément, pour chaque point d'échantillonnage 70_{nm} sur le plan 7, chaque point 60 de la surface externe de l'objet virtuel 6 en visibilité du point d'échantillonnage 70_{nm} est projeté sur le second plan 8 suivant la droite passant par le point 60 et le point d'échantillonnage 70_{nm} et en direction du point d'échantillonnage 70_{nm} . L'image projetée bidimensionnelle 80_{nm} est définie numériquement par une distribution
30 d'intensités $f_{nm}(Y, Z)$, c'est-à-dire à chaque point, ou pixel, de l'image $\hat{80}_{nm}$, repéré par ses coordonnées (Y, Z) dans le plan de projection 8, est associée une valeur d'intensité, qui est un nombre réel.

Une fois que les NxM images projetées 80_{11} à 80_{NM} correspondant respectivement aux NxM points d'échantillonnage 70_{11} à 70_{NM} ont été déterminées dans le second plan 8, des hologrammes 75_{11} à 75_{NM} , dont un est schématiquement illustré aux figures 4 et 7, sont produits
5 numériquement respectivement pour ces images projetées à une étape suivante E5. Le calcul de l'hologramme 75_{nm} pour une image projetée bidimensionnelle donnée 80_{nm} peut être réalisé selon une technique connue basée sur la transformation de Fourier. Une description d'une telle technique peut être trouvée dans l'article de S. Michelin, D. Arquès et J.C. Grossetie,
10 intitulé « Fourier-transform computer generated hologram : a variation on the off-axis principle » publié dans SPIE conferences 1994, Practical Holography VIII, pages 249-254, ou dans l'article de Olof Bryngdahl et Franck Wyrowski, sous la responsabilité de E. Wolf, intitulé « Digital Holography-Computer-Generated Holograms », publié dans Progress in
15 Optics, volume XXVIII par Elsevier Science Publishers B.V., 1990. Cette technique consiste, de manière générale, à simuler la production analogique d'un hologramme, en appliquant une suite de transformations de Fourier à un produit de convolution associé à une image bidimensionnelle, en additionnant un champ complexe représentant une onde optique de
20 référence à la suite de transformées de Fourier ainsi obtenue, puis en extrayant l'information d'amplitude contenue dans la somme du champ complexe et de la suite de transformées de Fourier.

La présente invention utilise un algorithme amélioré par rapport aux méthodes conventionnelles, pour mettre en œuvre l'étape E5. Cet
25 algorithme est illustré à la figure 5.

A une étape E50, l'image bidimensionnelle projetée 80_{nm} , décrite par la distribution d'intensités précitée $f_{nm}(Y,Z)$, est transformée en une image bidimensionnelle transformée 81_{nm} qui est décrite par une distribution d'amplitudes, en calculant pour chaque point de l'image 80_{nm} la racine
30 carrée de la valeur d'intensité correspondante.

A une étape suivante E51, un diffuseur dit « pseudoaléatoire » est généré numériquement. Ce diffuseur consiste en une « image » ayant le même nombre de pixels que l'image bidimensionnelle projetée 80_{nm} , et dont chaque pixel a une valeur d'intensité égale à 1 et une phase aléatoire.

Chaque phase du diffuseur est alors associée à un pixel correspondant de l'image bidimensionnelle transformée 81_{nm} , pour transformer l'image 81_{nm} en une image dite « complexe » 82_{nm} dans laquelle un nombre complexe défini par une valeur d'amplitude et une valeur de phase est déterminé pour
5 chaque pixel. Le diffuseur pseudoaléatoire permet d'éviter que l'hologramme résultant 75_{nm} présente de trop grandes disparités de niveaux d'amplitude en moyennant les valeurs d'amplitude de cet hologramme.

A une étape E52, l'image complexe 82_{nm} obtenue à l'étape E51 est suréchantillonnée, c'est-à-dire cette image est incluse dans une image
10 plus grande, comme montré à la figure 6. Une image 83_{nm} est ainsi formée, constituée dans une partie centrale 830_{nm} par l'image complexe 82_{nm} et dans une partie périphérique complémentaire 831_{nm} de pixels dont l'amplitude est choisie arbitrairement, par exemple égale à 0. Ce suréchantillonnage de l'image complexe 82_{nm} permet d'augmenter le nombre de pixels de
15 l'hologramme résultant 75_{nm} et ainsi de restituer une image tridimensionnelle de l'objet 6 avec une plus grande résolution.

A une étape E53, l'image diffractée produite sur le plan de calcul d'hologramme 7 lorsque l'image bidimensionnelle projetée 80_{nm} est éclairée par une onde cohérente fictive DIF de longueur d'onde λ (Cf. figure 4) est
20 simulée numériquement. L'étape E53 consiste à calculer un produit de convolution associé à l'image complexe suréchantillonnée 83_{nm} . Ce produit de convolution est conforme à la théorie de la diffraction scalaire. A titre d'exemple, selon une formulation de la diffraction scalaire de type Rayleigh-Sommerfeld, les deux composantes du produit de convolution
25 peuvent correspondre respectivement à un champ complexe représentatif de l'image complexe suréchantillonnée 83_{nm} et à un champ complexe représentatif d'une onde optique sphérique de longueur d'onde λ . D'autres types de produits de convolution pour le calcul d'une image diffractée sont toutefois connus de l'homme du métier. Le produit de convolution calculé à
30 l'étape E53 utilise comme paramètres notamment la distance D2 précitée et la longueur d'onde d'émission λ de la source lumineuse 4.

Le calcul du produit de convolution est réalisé, selon l'invention, en appliquant une transformation complexe, dite également transformation rapide complexe, aux deux composantes du produit de convolution, en

calculant le produit des transformées rapides complexes résultantes, puis en appliquant la transformation rapide complexe inverse de ladite transformation rapide complexe au produit précité des transformées rapides complexes.

- 5 De manière plus explicite, si CONV désigne le produit de convolution, C1 et C2 les deux composantes de celui-ci, et T la transformation rapide complexe, alors le produit de convolution s'écrit :

$$\text{CONV} = C1 \otimes C2 = T^{-1}T(C1 \otimes C2)$$

$$\text{CONV} = T^{-1}(T(C1)T(C2)).$$

- Par transformation rapide complexe, on entend ici une
 10 transformation mathématique compatible avec la théorie de la diffraction optique scalaire, c'est-à-dire dont les fonctions transformées résultantes satisfont aux équations conventionnelles de la diffraction scalaire. La transformation rapide complexe doit en outre satisfaire la propriété selon laquelle la transformée rapide complexe d'un produit de convolution de
 15 deux composantes est égal au produit des transformées rapides complexes respectives desdites deux composantes. Des transformations rapides complexes qui remplissent les conditions ci-dessus sont la transformation de Fourier, la transformation de polynômes orthogonaux, la transformation de Paley, la transformation de Hadamar, la transformation de Walsh, la
 20 transformation de Hankel, la transformation de Karhunen-Loeve, la transformation d'ondelettes discrètes en multirésolution, et la transformation d'ondelettes adaptatives. D'autres transformations rapides complexes appropriées sont celles résultant d'une composition entre au moins deux des transformations précitées, telles qu'une composition entre la
 25 transformation de Walsh et la transformation d'Hadamar. L'application d'une composition de deux transformations données T1 et T2 à une image quelconque I est définie, de façon mathématiquement classique, par $(T1 \circ T2)(I) = T1(T2(I))$.

- 30 Chacune des transformations rapides complexes précitées peut être utilisée dans un cas spécifique. En particulier, le choix de la transformation rapide complexe est effectué en fonction de la distance D2, par rapport au modulateur spatial de lumière 2, à laquelle l'on souhaite

restituer l'image optique en trois dimensions de l'objet 6. Pour une grande distance D2 une transformation de Fourier est appropriée. Pour une distance D2 plus faible une transformation de Walsh convient mieux. Egalement, il a été trouvé que l'utilisation parmi les transformations rapides complexes susmentionnées d'une transformation autre que la transformation de Fourier
5 donne de meilleurs résultats en termes de qualité de l'hologramme 75_{nm} que ceux obtenus par la transformation de Fourier.

Il est par ailleurs à noter que grâce à la transformation de l'image bidimensionnelle projetée 80_{nm} en une image complexe 82_{nm}, le calcul, à
10 l'étape E53, du produit de convolution associé à l'image 80_{nm} est effectué de manière plus pratique que dans la technique antérieure, puisque la transformation rapide complexe est appliquée directement sur une image 83_{nm} décrite par une fonction complexe et non pas sur une image décrite par une fonction réelle.

15 A l'issue de l'étape E53, l'image diffractée 84_{nm} est décrite par un champ complexe constitué par un ensemble de nombres complexes dont chacun est associé à un point de l'image 84_{nm}. Chacun de ces nombres complexes dépend par ailleurs de l'image 83_{nm} prise dans son ensemble.

A une étape suivante E54, un champ complexe simulant une
20 onde optique de référence REF de longueur d'onde λ , dirigée vers le plan de calcul d'hologramme 7, est additionné, dans le plan 7, au champ complexe représentatif de l'image diffractée 84_{nm}, puis l'information d'amplitude contenue dans le champ complexe résultant est extraite afin de produire un champ d'interférences. L'addition des deux champs complexes précités est
25 effectuée en additionnant, en chaque point de l'image diffractée 84_{nm}, le nombre complexe associé à ce point et la valeur, en ce même point, du champ complexe représentatif de l'onde de référence REF. Ledit champ d'interférences constitue l'hologramme 75_{nm} de l'image projetée bidimensionnelle 80_{nm}.

30 Selon une variante de l'algorithme de la figure 5, les étapes de production de l'image complexe E50 et E51 et/ou l'étape de suréchantillonnage E52 sont supprimées. Selon une autre variante, l'étape de suréchantillonnage E52 est mise en œuvre avant les étapes de production de l'image complexe E50 et E51.

L'hologramme 75_{nm} d'une image bidimensionnelle donnée 80_{nm} obtenu à l'étape E5 est un champ, ou réseau, diffractif, qui est calculé pour une longueur d'onde particulière, à savoir la longueur d'onde d'émission λ de la source lumineuse 4. Cet hologramme, qui se présente à l'étape E5 sous
5 forme virtuelle, c'est-à-dire est représenté dans l'ordinateur 1 par des données numériques, est tel que, s'il est reproduit physiquement par un écran holographique, un éclairage dudit écran holographique par une source laser émettant à la longueur d'onde précitée λ permette de restituer, dans un ordre de diffraction donné, l'image bidimensionnelle initiale 80_{nm} .

10 Chaque hologramme 75_{nm} obtenu à l'étape E5 est décrit numériquement dans l'ordinateur 1 par une fonction bidimensionnelle d'amplitudes $A_{nm}(u,v)$, où (u,v) désignent des coordonnées dans le plan de calcul d'hologramme 7 qui correspondent par exemple à des fréquences spatiales d'image dans le cas où la transformation rapide complexe choisie à
15 l'étape E53 est une transformation de Fourier. La fonction bidimensionnelle d'amplitudes $A_{nm}(u,v)$ est déduite, comme expliqué ci-dessus, de la fonction bidimensionnelle d'intensités $f_{nm}(Y,Z)$ décrivant l'image bidimensionnelle projetée 80_{nm} correspondante. En pratique, la fonction $A_{nm}(u,v)$ associée à un hologramme donné 75_{nm} est calculée seulement pour une suite de points
20 discrets $(u,v) = (u_{nm}^k, v_{nm}^q)$, où k et q sont des entiers respectivement compris 1 et K , et 1 et Q (Cf. figure 7). Toutefois, les valeurs que prennent les fonctions $A_{nm}(u,v)$ peuvent s'étaler continûment entre une valeur d'amplitude minimale et une valeur d'amplitude maximale.

En référence de nouveau à la figure 3, à une étape E6 de
25 l'algorithme, les valeurs prises par les fonctions $A_{nm}(u,v)$ sont discrétisées et codées, c'est-à-dire à chaque valeur de ces fonctions est associée une valeur discrète qui est codée numériquement par exemple sur 8 bits. A chaque couple de points discrets (u_{nm}^k, v_{nm}^q) correspond alors une valeur d'amplitude discrète, représentative d'un niveau de gris, parmi 256 valeurs. Les
30 amplitudes $A_{nm}(u,v)$ peuvent également être discrétisées plus simplement en associant, pour chaque valeur d'amplitude de $A_{nm}(u,v)$, la valeur discrète « 0 » si ladite valeur d'amplitude est inférieure à un seuil prédéterminé, ou la

valeur discrète « 1 » si ladite valeur d'amplitude est supérieure au seuil prédéterminé.

5 A une étape suivante E7, les hologrammes discrétisés et codés, déterminés à l'étape E6, désignés par 90_{11} à 90_{NM} , sont juxtaposés pour former une image numérique 9 qui est représentée à la figure 8. Les hologrammes 90_{11} à 90_{NM} sont agencés dans l'image numérique 9 selon la même configuration que les points d'échantillonnage 70_{11} à 70_{NM} correspondants sur le premier plan 7. L'image numérique 9 est ainsi représentative d'un hologramme de l'objet virtuel 6.

10 A une étape E8, l'image numérique, ou hologramme, 9 est transmis par l'ordinateur 1 au modulateur spatial de lumière 2 via l'interface pilote 3, pour être reproduit physiquement par le modulateur spatial de lumière 2. Plus particulièrement, chaque écran élémentaire 20_{nm} affiche l'hologramme 90_{nm} correspondant. En éclairant le modulateur spatial 2 par
15 la source lumineuse 4, une image optique réelle ou virtuelle en trois dimensions de l'objet 6 peut alors être restituée par diffraction de la lumière émise par la source 4 à travers le modulateur spatial 2.

La description ci-dessus a été produite pour un nombre de pixels, ou cellules diffractives, de l'image numérique 9 égal au nombre de pixels de
20 l'écran holographique 2, c'est-à-dire égal à $N \times M \times K \times Q$, et pour un agencement des pixels identique dans l'image numérique 9 et l'écran 2, de sorte que l'image numérique 9 est parfaitement adaptée à la structure de l'écran 2. Toutefois, si le nombre et/ou l'agencement des pixels sont différents dans l'image 9 et l'écran 2, une étape d'adaptation E78 est prévue
25 avant l'étape de restitution d'image tridimensionnelle E8 pour adapter l'image numérique 9 à la structure de l'écran holographique 2.

Comme il a déjà été indiqué, les hologrammes 90_{11} à 90_{NM} des images bidimensionnelles 80_{11} à 80_{NM} , et donc l'hologramme 9 de l'objet 6, sont calculés pour la longueur d'onde d'émission de la source lumineuse 4.
30 L'image tridimensionnelle de l'objet virtuel 6 est donc restituée par l'écran 2 dans la couleur correspondant à cette longueur d'onde.

La figure 9 montre un second mode de réalisation du dispositif holographique conforme à l'invention. Cette seconde réalisation diffère de la première montrée à la figure 1 en ce que la source lumineuse 4 est

remplacée par trois sources lumineuses 4a, 4b et 4c émettant respectivement de la lumière cohérente rouge, verte et bleue. Les sources lumineuses 4a, 4b et 4c sont commandées par l'ordinateur 1 via une interface spécifique (non représentée) de sorte que celles-ci émettent de la lumière alternativement en synchronisme avec la reproduction par le modulateur spatial 2 d'une séquence d'hologrammes calculés par l'ordinateur 1 et correspondant chacun à l'une des couleurs rouge, vert et bleu (RVB). Ainsi, chaque source lumineuse 4a, 4b et 4c éclaire le modulateur spatial lorsqu'un hologramme associé respectivement à la couleur rouge, vert et bleu est affiché par le modulateur spatial de lumière 2. Par cette technique de multiplexage temporel, il est possible de restituer une image tridimensionnelle en couleurs de l'objet virtuel 6.

Par ailleurs, l'invention n'est pas limitée à l'éclairage du modulateur spatial 2 en transmission. Ainsi, dans les modes de réalisation montrés aux figures 1 et 9, les sources lumineuses 4, et 4a, 4b, 4c respectivement peuvent être disposées du même côté que l'observateur 5 par rapport au modulateur spatial 2, de manière à diffracter de la lumière en réflexion sur le modulateur spatial 2.

Le modulateur spatial de lumière 2 utilisé dans la présente invention est capable de reproduire des hologrammes en temps réel. Ainsi, le procédé décrit en référence aux figures 3 à 5 peut être mis en œuvre pour des séquences d'images en trois dimensions de façon à restituer des images animées.

Dans les modes de réalisation montrés aux figures 1 et 9, le dispositif holographique est disposé sur un même site. Toutefois, en variante, le dispositif holographique conforme à l'invention peut être réparti en deux dispositifs distants, un premier dispositif, dit « émetteur », mettant en œuvre les étapes numériques E0 à E7 de l'algorithme de la figure 3, c'est-à-dire produisant l'hologramme numérique 9 à partir de l'objet virtuel 6, et le second dispositif, dit « récepteur », réalisant les étapes suivantes E78 et E8. L'hologramme 9 produit par le dispositif émetteur est transmis au dispositif récepteur sous la forme d'un signal numérique par un moyen de transmission.

Selon une autre variante de l'invention, le dispositif holographique est disposé sur un seul site, mais reçoit l'objet virtuel 6 d'un dispositif émetteur distant.

REVENDICATIONS

1. Procédé pour produire un hologramme à partir d'un objet virtuel (6) défini dans un espace géométrique à trois dimensions (O,x,y,z),
5 caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
 produire par calcul (E1-E4) un ensemble d'images bidimensionnelles (80_{nm}) représentatives de l'objet selon des points de vue respectifs différents dans l'espace à trois dimensions,
 produire par calcul (E5-E6) des hologrammes (90_{nm})
10 correspondant respectivement auxdites images bidimensionnelles, et
 combiner (E7) lesdits hologrammes (90_{nm}) pour former un hologramme (9) de l'objet (6).
2. Procédé conforme à la revendication 1, selon lequel l'étape de produire par calcul l'ensemble d'images bidimensionnelles comprend les
15 étapes suivantes :
 définir (E1-E2) dans l'espace à trois dimensions une matrice de points (70_{nm}) située dans un premier plan géométrique (7) disjoint de l'objet (6), et
 projeter (E3-E4) les images de l'objet vues depuis respectivement
20 les points (70_{nm}) de ladite matrice sur un second plan géométrique (8), qui est de préférence intercalé entre l'objet (6) et le premier plan (7) et parallèle au premier plan, les images projetées constituant lesdites images bidimensionnelles (80_{nm}).
3. Procédé conforme à la revendication 2, selon lequel ladite étape de projeter consiste, pour chaque point (70_{nm}) de la matrice, à projeter des
25 points (60) de l'objet (6) sur le second plan (8) suivant des droites respectives passant par lesdits points de l'objet et ledit chaque point de la matrice.
4. Procédé conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 3,
30 selon lequel ladite étape (E5-E6) de produire par calcul les hologrammes est mise en œuvre selon une technique utilisant la transformation de Fourier.
5. Procédé conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 4, selon lequel lesdites images bidimensionnelles (80_{nm}) sont définies par des fonctions réelles respectives ($f_{nm}(Y,Z)$) et ladite étape (E5-E6) de produire

par calcul les hologrammes comprend les étapes suivantes pour une image bidimensionnelle donnée (80_{nm}) :

- transformer (E50, E51) l'image bidimensionnelle donnée définie par la fonction réelle correspondante en une image bidimensionnelle complexe définie par une fonction complexe,
- 5 suréchantillonner (E52) l'image complexe (82_{nm}),
- simuler (E53) la production d'une image diffractée résultant de la diffraction d'une onde optique (DIF) par l'image complexe suréchantillonnée (83_{nm}),
- 10 additionner (E54) un champ complexe représentatif d'une onde optique de référence (REF) à l'image diffractée résultante (84_{nm}), et
- coder (E6) des valeurs prises par l'amplitude de la somme dudit champ complexe et de l'image diffractée résultante (84_{nm}) afin de produire l'hologramme (90_{nm}) associé à ladite image bidimensionnelle donnée
- 15 (80_{nm}).

6. Procédé conforme à la revendication 5, selon lequel ladite étape de transformer comprend les étapes suivantes :

- déterminer (E50) des valeurs d'amplitude dépendant chacune de la racine carrée d'une valeur correspondante prise par ladite fonction réelle,
- 20 et
- associer (E51) une phase à chacune desdites valeurs d'amplitude de sorte qu'une valeur d'amplitude et une valeur de phase soient définies pour chaque point de l'image complexe.

7. Procédé conforme à la revendication 5 ou 6, selon lequel ladite
- 25 étape (E53) de simuler comprend le calcul d'au moins l'une des transformations complexes suivantes : transformation de Fourier, transformation de Walsh, transformation de Hankel, transformation de polynômes orthogonaux, transformation de Hadamar, transformation de Karhunen-Loeve, transformation d'ondelettes discrètes en mutirésolution,
- 30 transformation d'ondelettes adaptatives, et transformation résultant d'une composition d'au moins deux des transformations ci-dessus.

8. Procédé conforme à la revendication 7, selon lequel ladite étape (E53) de simuler consiste à calculer un produit de convolution, associé à l'image complexe suréchantillonnée, de deux composantes, en appliquant la

transformation inverse de ladite transformation complexe au produit des transformations complexes respectives desdites deux composantes.

9. Procédé conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 8, selon lequel ladite étape (E7) de combiner les hologrammes consiste
5 notamment à juxtaposer les hologrammes (90_{nm}) des images bidimensionnelles (80_{nm}) dans une même image numérique (9) constituant ledit hologramme (9) de l'objet (6).

10. Procédé pour produire une image tridimensionnelle à partir d'un objet virtuel (6) défini dans un espace géométrique à trois dimensions
10 (O,x,y,z), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

produire un hologramme (9) de l'objet (6) selon le procédé défini dans l'une quelconque des revendications 1 à 9,

reproduire (E8) physiquement ledit hologramme (9) de l'objet (6) sur un modulateur spatial de lumière (2), et

15 éclairer (E8) le modulateur spatial de lumière (2) afin de restituer une image tridimensionnelle de l'objet (6) à partir de cet hologramme (9).

11. Procédé conforme à la revendication 10, selon lequel ledit modulateur spatial de lumière (2) comprend un écran à cristaux liquides ayant un pas de pixels (pitch) inférieur à $10\text{ }\mu\text{m}$ et de préférence compris
20 entre $1\text{ }\mu\text{m}$ et $2\text{ }\mu\text{m}$ suivant au moins deux directions distinctes.

12. Procédé conforme à la revendication 10 ou 11, selon lequel l'étape d'éclairer le modulateur spatial de lumière (2) consiste à éclairer celui-ci alternativement par trois ondes optiques (4a, 4b, 4c) respectivement
25 représentatives des couleurs Rouge, Vert et Bleu (RVB) en synchronisme avec la reproduction par le modulateur spatial de lumière (2) d'une séquence d'hologrammes de l'objet produits selon ledit procédé défini dans l'une quelconque des revendications 1 à 9 et correspondant chacun à l'une desdites trois couleurs, de sorte qu'une image tridimensionnelle en couleur de l'objet (6) soit restituée.

30 13. Procédé conforme à l'une quelconque des revendications 10 à 12, selon lequel une séquence d'hologrammes est reproduite physiquement par le modulateur spatial de lumière (2), chacun des hologrammes de cette séquence étant produit selon ledit procédé défini dans l'une quelconque des revendications 1 à 9, de sorte qu'après l'étape d'éclairer le modulateur

spatial de lumière, des images animées en trois dimensions de l'objet (6) soient restituées.

14. Dispositif pour produire un hologramme à partir d'un objet virtuel (6) défini dans un espace géométrique à trois dimensions (O,x,y,z),
5 caractérisé en ce qu'il comprend :

un moyen (1) pour mémoriser l'objet virtuel (6) défini dans l'espace géométrique à trois dimensions (O,x,y,z),

- un premier moyen de calcul (1) pour produire un ensemble d'images bidimensionnelles (80_{nm}) représentatives de l'objet (6) selon des points de vue respectifs différents dans l'espace à trois dimensions,
10

un second moyen de calcul (1) pour produire des hologrammes (90_{nm}) correspondant respectivement auxdites images bidimensionnelles (80_{nm}), et

- un moyen de combinaison (1) pour combiner lesdits hologrammes (90_{nm}) de manière à former un hologramme (9) de l'objet (6).
15

15. Dispositif conforme à la revendication 14, dans lequel ledit premier moyen de calcul comprend un moyen de calcul de projection (1) pour calculer la projection d'images de l'objet (6), vues depuis respectivement les points (70_{nm}) d'une matrice de points située dans un premier plan géométrique (7) disjoint de l'objet (6), sur un second plan géométrique (8) qui est de préférence intercalé entre l'objet (6) et le premier plan (7) et parallèle au premier plan (7) dans l'espace géométrique à trois dimensions (O,x,y,z).
20

16. Dispositif conforme à la revendication 15, dans lequel ledit moyen de calcul de projection comprend un moyen (1) pour calculer la projection, pour chaque point (70_{nm}) de la matrice, de points (60) de l'objet (6) sur le second plan (8) suivant des droites respectives passant par lesdits points de l'objet et ledit chaque point de la matrice.
25

17. Dispositif conforme à l'une quelconque des revendications 14 à 16, dans lequel lesdites images bidimensionnelles (80_{nm}) sont définies par des fonctions réelles respectives ($f_{nm}(Y,Z)$) et le second moyen de calcul comprend :
30

- un moyen de transformation (1) pour transformer (E50, E51) une image bidimensionnelle donnée (80_{nm}) définie par la fonction réelle correspondante en une image complexe définie par une fonction complexe,
- un moyen (1) pour suréchantillonner (E52) l'image complexe,
- 5 un moyen de simulation (1) pour simuler (E53) la production d'une image diffractée résultant de la diffraction d'une onde optique (DIF) par l'image complexe suréchantillonnée,
- un moyen (1) pour additionner (E54) un champ complexe représentatif d'une onde optique de référence (REF) à l'image diffractée
- 10 résultante (84_{nm}), et
- un moyen (1) pour coder (E6) des valeurs prises par l'amplitude de la somme dudit champ complexe et de l'image diffractée (84_{nm}) afin de produire l'hologramme (90_{nm}) associé à ladite image bidimensionnelle donnée (80_{nm}).
- 15 18. Dispositif conforme à la revendication 17, dans lequel ledit moyen de transformation comprend :
- un moyen (1) pour déterminer (E50) des valeurs d'amplitude dépendant chacune de la racine carrée d'une valeur correspondante prise par ladite fonction réelle, et
- 20 un moyen (1) pour associer (E51) une phase à chacune desdites valeurs d'amplitude de sorte qu'une valeur d'amplitude et une valeur de phase soient définies pour chaque point de l'image complexe.
19. Dispositif conforme à la revendication 17 ou 18, dans lequel ledit moyen de simulation comprend un moyen (1) pour calculer l'une des
- 25 transformations complexes suivantes : transformation de Fourier, transformation de Walsh, transformation de Hankel, transformation de polynômes orthogonaux, transformation de Hadamar, transformation de Karhunen-Loeve, transformation d'ondelettes discrètes en mutirésolution, transformation d'ondelettes adaptatives, et transformation résultant d'une
- 30 composition d'au moins deux des transformations ci-dessus.
20. Dispositif conforme à la revendication 19, dans lequel ledit moyen de simulation comprend un moyen (1) pour calculer un produit de convolution, associé à l'image complexe suréchantillonnée, de deux composantes en appliquant la transformation inverse de ladite

transformation complexe au produit des transformations complexes respectives desdites deux composantes.

21. Dispositif conforme à l'une quelconque des revendications 14 à 20, dans lequel le moyen de combinaison (1) comprend un moyen pour
5 juxtaposer les hologrammes (90_{nm}) des images bidimensionnelles (80_{nm}) dans une même image numérique (9) constituant ledit hologramme de l'objet (6).

22. Dispositif pour produire une image tridimensionnelle à partir d'un objet virtuel (6) défini dans un espace géométrique à trois dimensions
10 (O,x,y,z), caractérisé en ce qu'il comprend :

un dispositif conforme à l'une quelconque des revendications 14 à 21 pour produire un hologramme (9) de l'objet (6),

un modulateur spatial de lumière (2) pour reproduire physiquement l'hologramme (9) de l'objet, et

15 une source lumineuse (4) pour éclairer le modulateur spatial de lumière (2) afin de restituer une image tridimensionnelle de l'objet (6) à partir de cet hologramme (9).

23. Dispositif conforme à la revendication 22, dans lequel ledit modulateur spatial de lumière (2) comprend un écran à cristaux liquides
20 ayant un pas de pixels (pitch) inférieur à $10\ \mu m$ et de préférence compris entre $1\ \mu m$ et $2\ \mu m$ suivant au moins deux directions distinctes.

24. Dispositif conforme à la revendication 22 ou 23, dans lequel ladite source lumineuse comprend trois sources lumineuses distinctes (4a, 4b, 4c) pour éclairer le modulateur spatial de lumière (2) alternativement
25 par trois ondes optiques respectivement représentatives des couleurs Rouge, Vert et Bleu (RVB) en synchronisme avec la reproduction par le modulateur spatial de lumière (2) d'une séquence d'hologrammes de l'objet produits par ledit dispositif conforme à l'une quelconque des revendications 14 à 21 et correspondant chacun à l'une desdites trois couleurs, de sorte qu'une image
30 tridimensionnelle en couleur de l'objet soit restituée.

25. Dispositif conforme à l'une quelconque des revendications 22 à 24, dans lequel ledit dispositif conforme à l'une quelconque des revendications 14 à 21 est situé sur un premier site, et le modulateur spatial

de lumière (2) et la source lumineuse (4) sont situés sur un second site, les premier et second sites étant distants l'un de l'autre.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

1/5

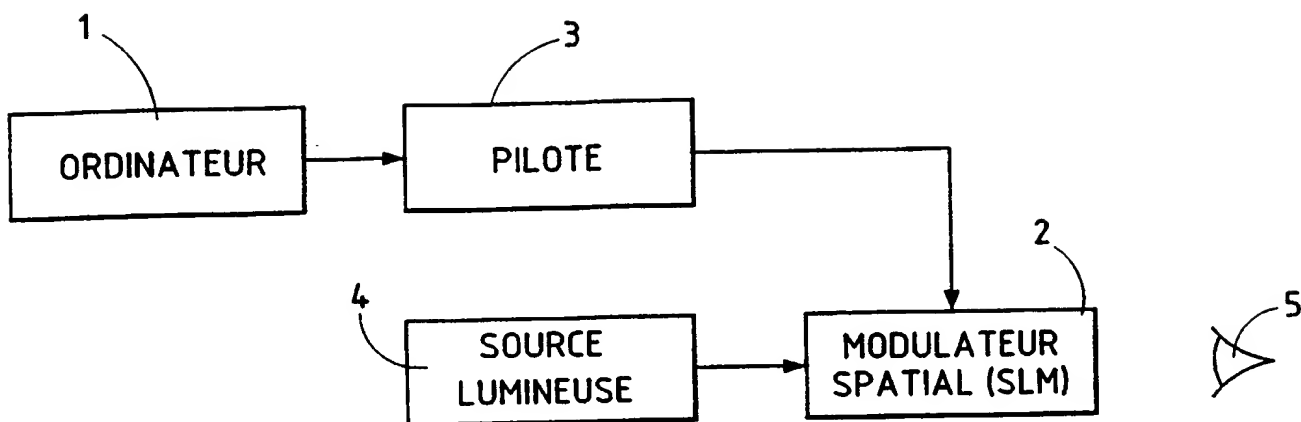


FIG.1

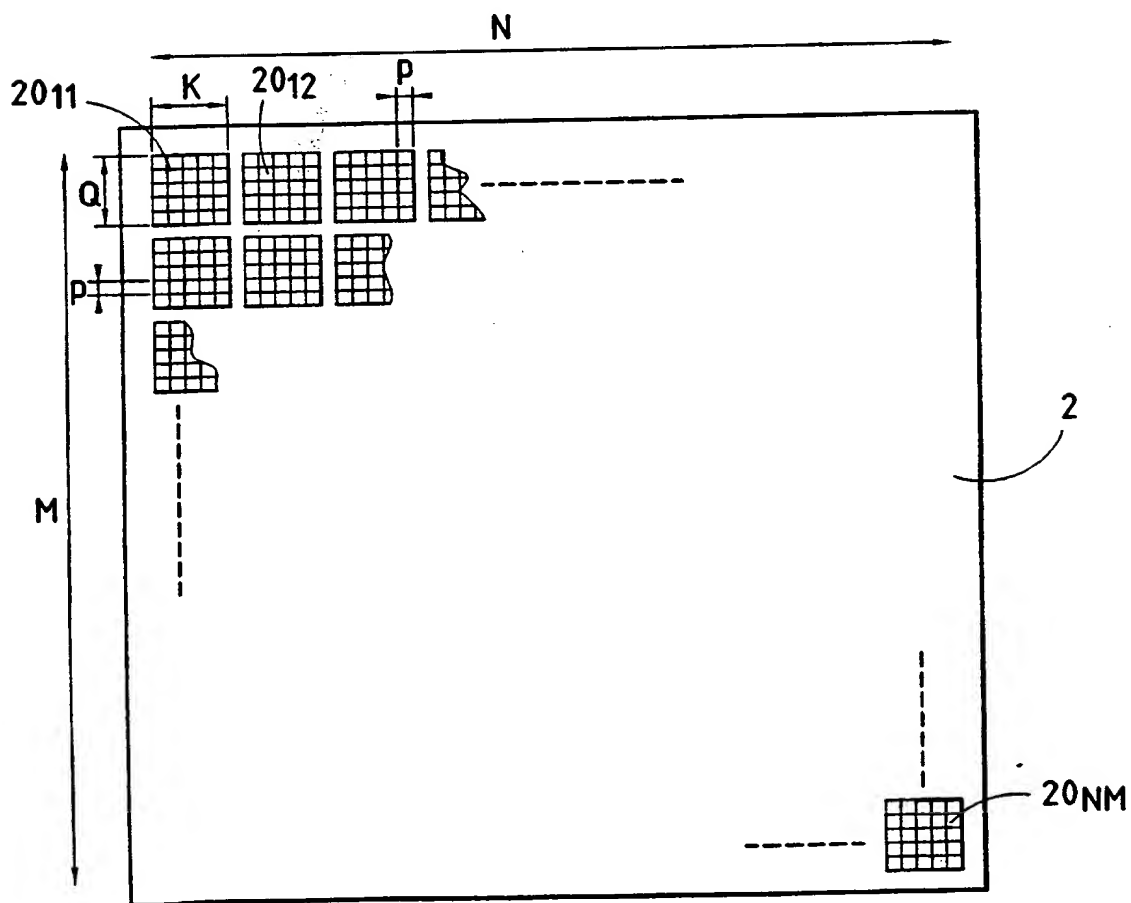


FIG.2

THIS PAGE BLANK (USPTO)

2/5

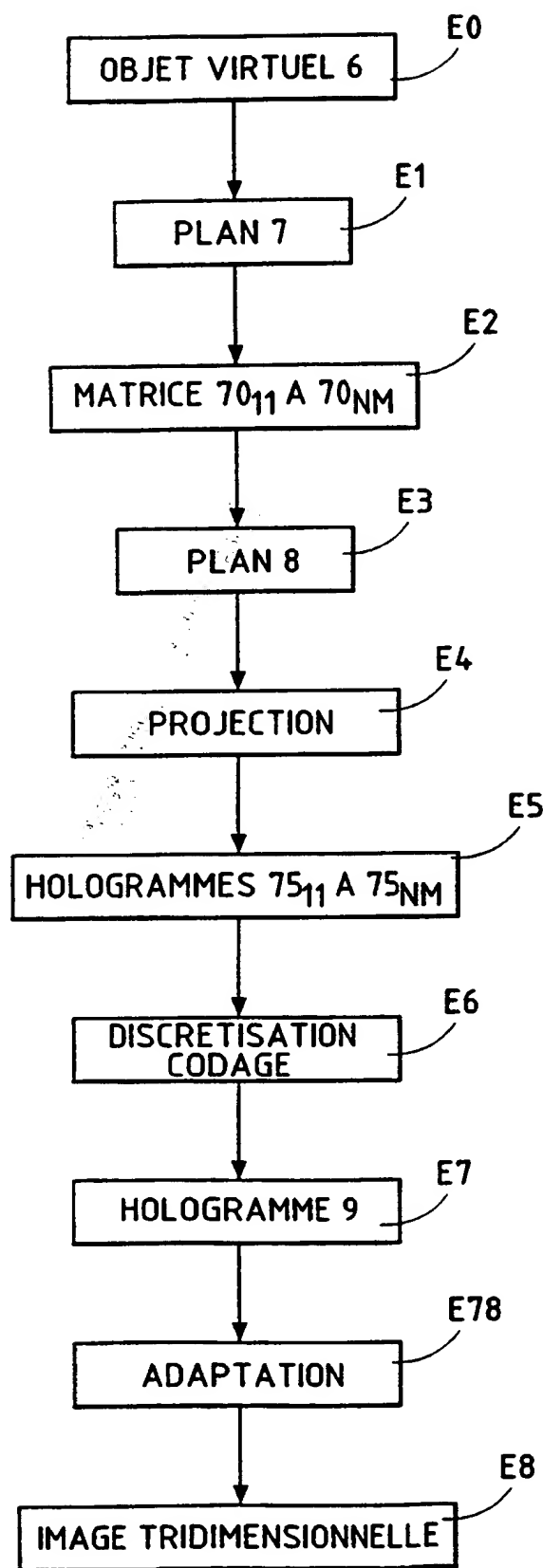


FIG.3

THIS PAGE BLANK (USPTO)

FIG.4

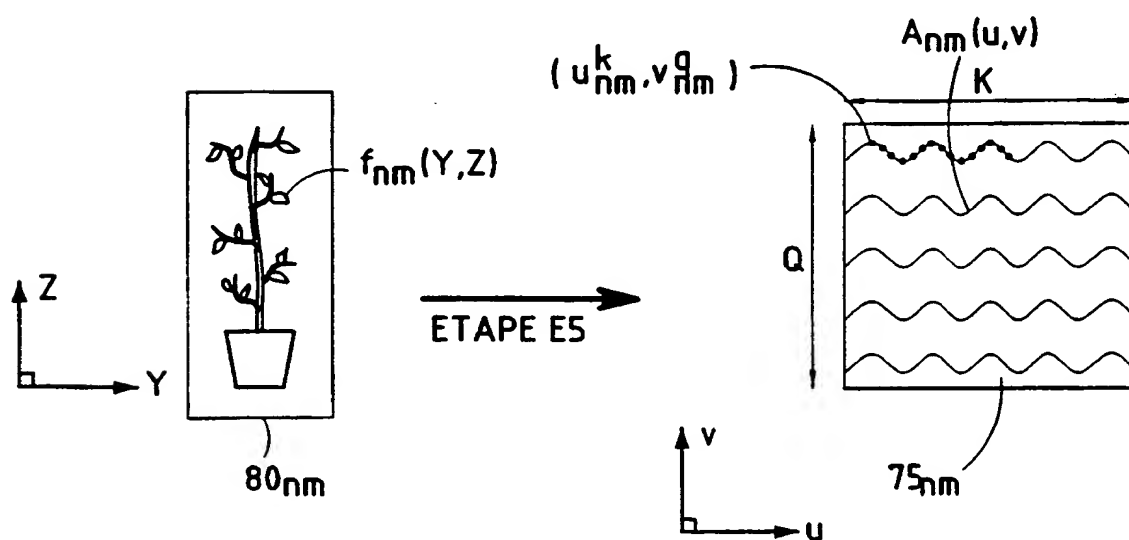
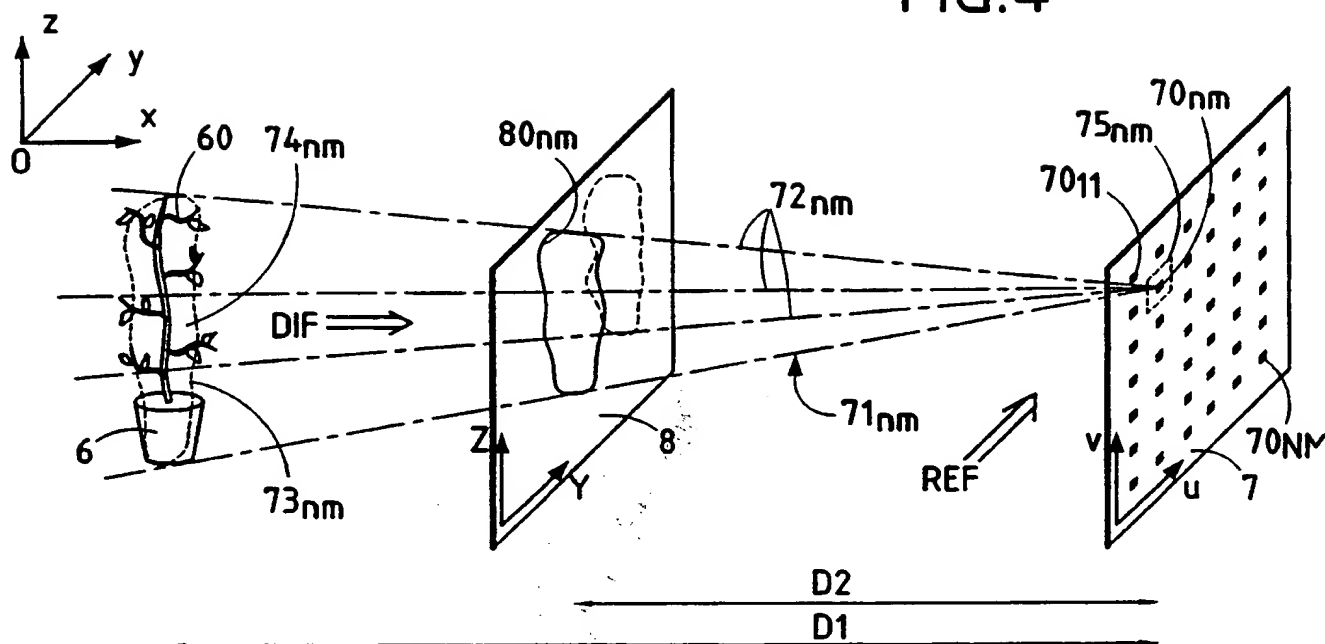


FIG. 7

THIS PAGE BLANK (USPTO)

4/5

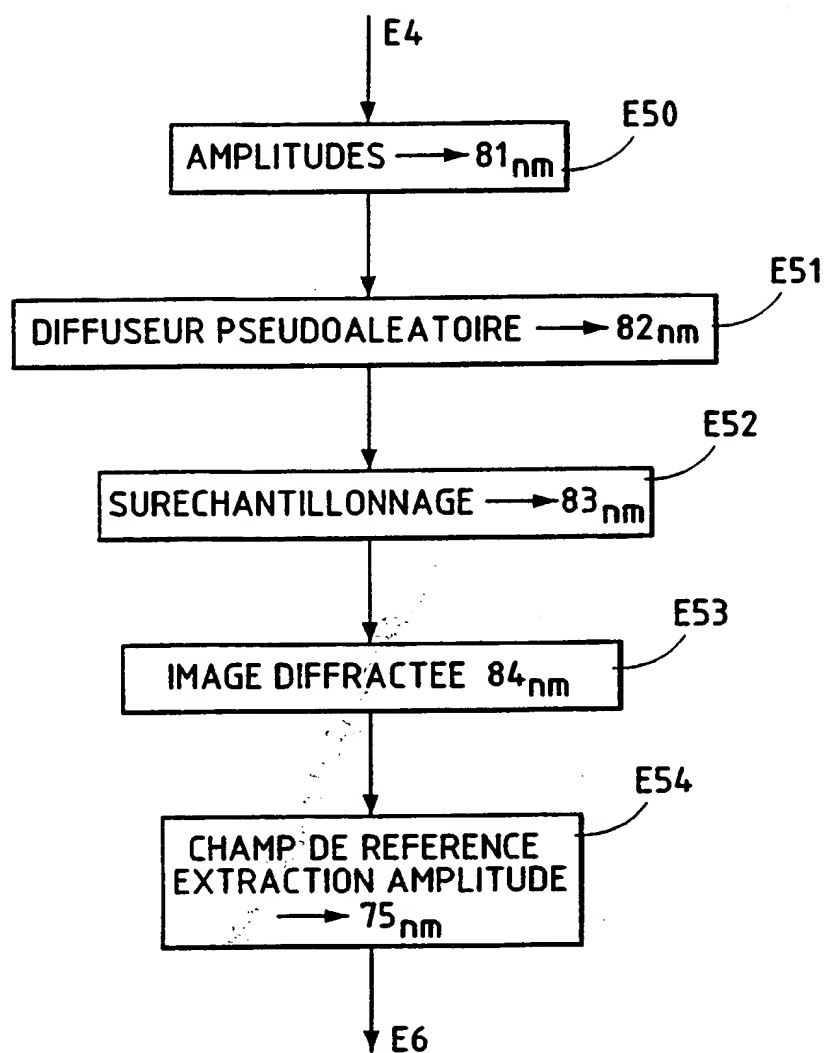


FIG.5

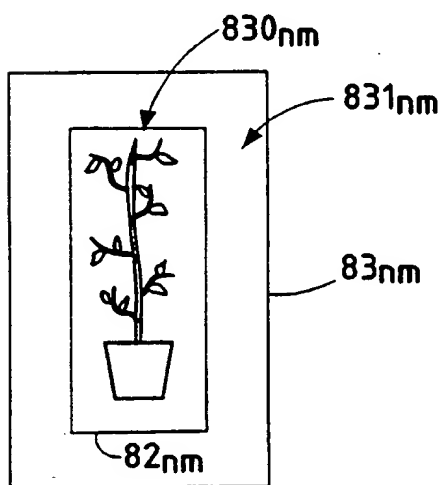


FIG.6

THIS PAGE BLANK (USPTO)

5/5

FIG.8

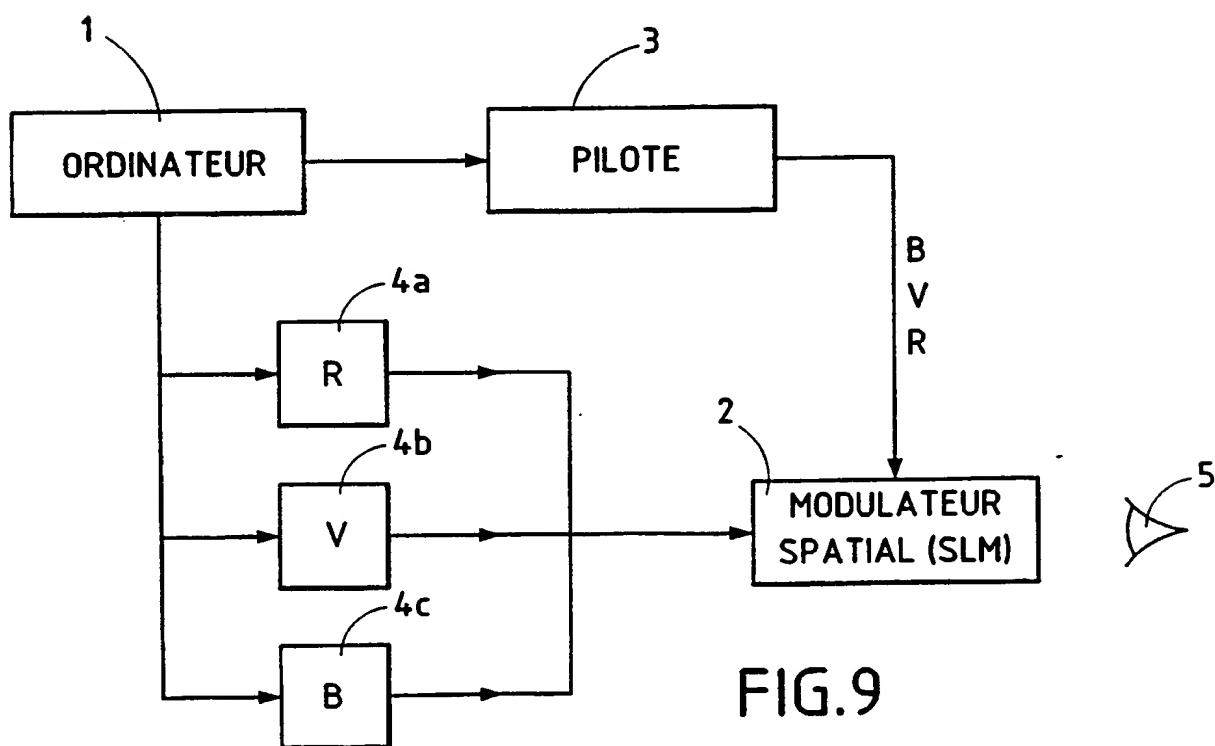
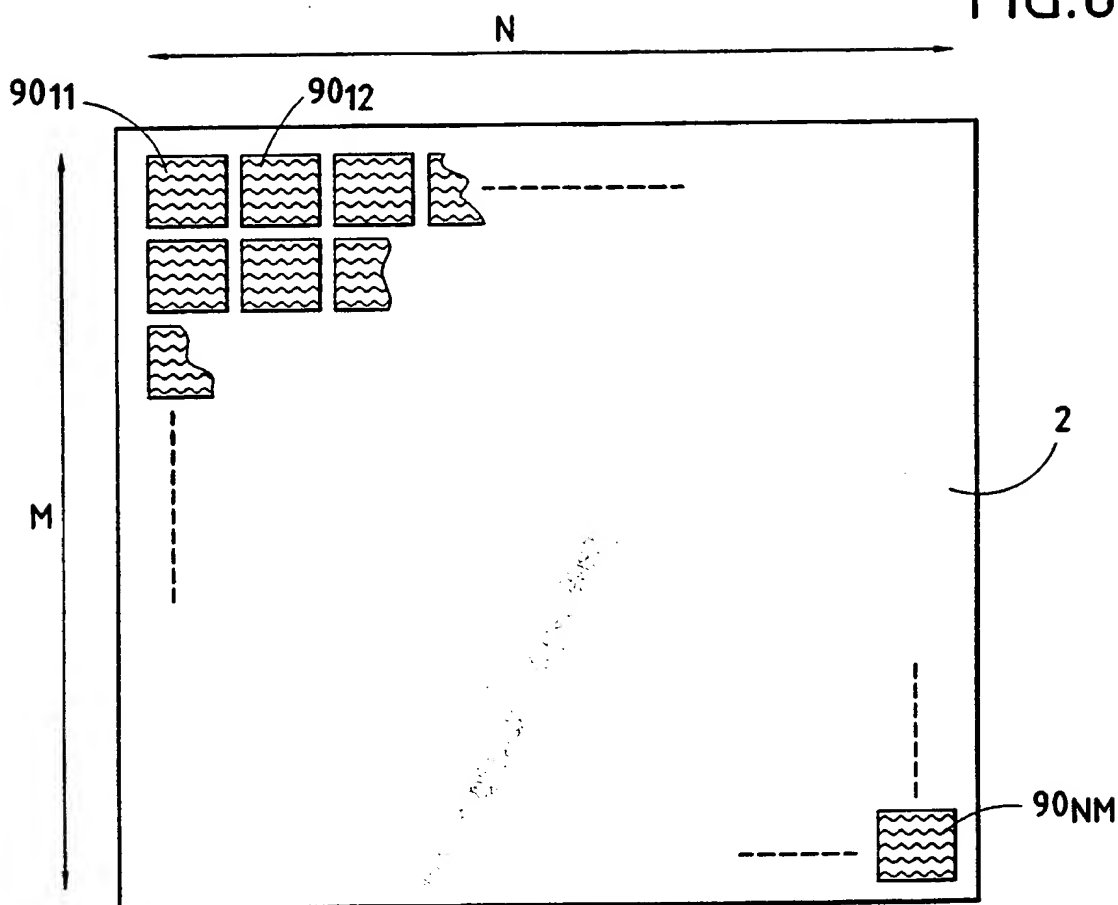


FIG.9

THIS PAGE BLANK (USPTO)

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Dossier International No

PCT/EP 98/07538

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 6 G03H1/08 G03H1/26

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 6 G03H

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 90 04218 A (HAINES KENNETH A) 19 avril 1990 voir page 12, ligne 32 - page 16, ligne 8 voir page 17, ligne 12 - ligne 18 voir revendications; figures 4,5	1-4, 9, 14-16, 21
Y	---	10-12, 22-24
Y	US 5 668 648 A (SAITO TUTOMU ET AL) 16 septembre 1997 cité dans la demande voir colonne 4, ligne 52 - colonne 6, ligne 55 voir colonne 13, ligne 8 - ligne 34 voir colonne 14, ligne 1 - ligne 17 voir figures 1,2,13	10-12, 22-24
A	---	1-4, 9, 14-16, 21
	-/--	

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets -

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

1 mars 1999

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

12/03/1999

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Krametz, E

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

le Internationale No

PCT/EP 98/07538

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>EP 0 588 617 A (FUJITSU LTD) 23 mars 1994</p> <p>voir page 4, ligne 24 - ligne 52 voir page 8, ligne 18 - ligne 28 voir page 8, ligne 48 - ligne 57 voir page 10, ligne 9 - ligne 22 voir revendications; figures 1,2,20,29</p> <p>---</p>	<p>1-3, 9-12, 14-16, 21-24</p>
A	<p>MICHELIN S ET AL: "Fourier-transform computer-generated hologram: a variation on the off-axis principle" PRACTICAL HOLOGRAPHY VIII, SAN JOSE, CA, USA, 7-9 FEB. 1994, vol. 2176, pages 249-254, XP002061907 ISSN 0277-786X, PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, 1994, USA cité dans la demande voir page 250, alinéa 2 - page 251, dernier alinéa; figures</p> <p>-----</p>	<p>5,17</p>

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Deposition internationale No

PCT/EP 98/07538

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 9004218 A	19-04-1990	US 4969700 A	13-11-1990
		AU 4484689 A	01-05-1990
		CA 2000819 A	14-04-1990
		DE 68926453 D	13-06-1996
		EP 0407497 A	16-01-1991
		JP 3502615 T	13-06-1991
		US 5194971 A	16-03-1993
US 5668648 A	16-09-1997	JP 5150701 A	18-06-1993
		JP 5150702 A	18-06-1993
		US 5347375 A	13-09-1994
EP 0588617 A	23-03-1994	JP 6102811 A	15-04-1994
		CA 2105445 A	19-03-1994
		US 5513020 A	30-04-1996

THIS PAGE BLANK (USPTO)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 98/07538

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G03H1/08 G03H1/26

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 G03H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 90 04218 A (HAINES KENNETH A) 19 April 1990 see page 12, line 32 - page 16, line 8 see page 17, line 12 - line 18 see claims; figures 4,5	1-4,9, 14-16,21
Y	---	10-12, 22-24
Y	US 5 668 648 A (SAITO TUTOMU ET AL) 16 September 1997 cited in the application see column 4, line 52 - column 6, line 55 see column 13, line 8 - line 34 see column 14, line 1 - line 17 see figures 1,2,13	10-12, 22-24
A	---	1-4,9, 14-16,21
	-/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

1 March 1999

Date of mailing of the international search report

12/03/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Krametz, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 98/07538

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>EP 0 588 617 A (FUJITSU LTD) 23 March 1994</p> <p>see page 4, line 24 - line 52 see page 8, line 18 - line 28 see page 8, line 48 - line 57 see page 10, line 9 - line 22 see claims; figures 1,2,20,29 -----</p>	<p>1-3, 9-12, 14-16, 21-24</p>
A	<p>MICHELIN S ET AL: "Fourier-transform computer-generated hologram: a variation on the off-axis principle" PRACTICAL HOLOGRAPHY VIII, SAN JOSE, CA, USA, 7-9 FEB. 1994, vol. 2176, pages 249-254, XP002061907 ISSN 0277-786X, PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, 1994, USA cited in the application see page 250, paragraph 2 - page 251, last paragraph; figures -----</p>	<p>5,17</p>

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 98/07538

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9004218	A	19-04-1990	US 4969700 A	13-11-1990
			AU 4484689 A	01-05-1990
			CA 2000819 A	14-04-1990
			DE 68926453 D	13-06-1996
			EP 0407497 A	16-01-1991
			JP 3502615 T	13-06-1991
			US 5194971 A	16-03-1993
<hr/>				
US 5668648	A	16-09-1997	JP 5150701 A	18-06-1993
			JP 5150702 A	18-06-1993
			US 5347375 A	13-09-1994
<hr/>				
EP 0588617	A	23-03-1994	JP 6102811 A	15-04-1994
			CA 2105445 A	19-03-1994
			US 5513020 A	30-04-1996
<hr/>				

THIS PAGE BLANK (USPTO)